

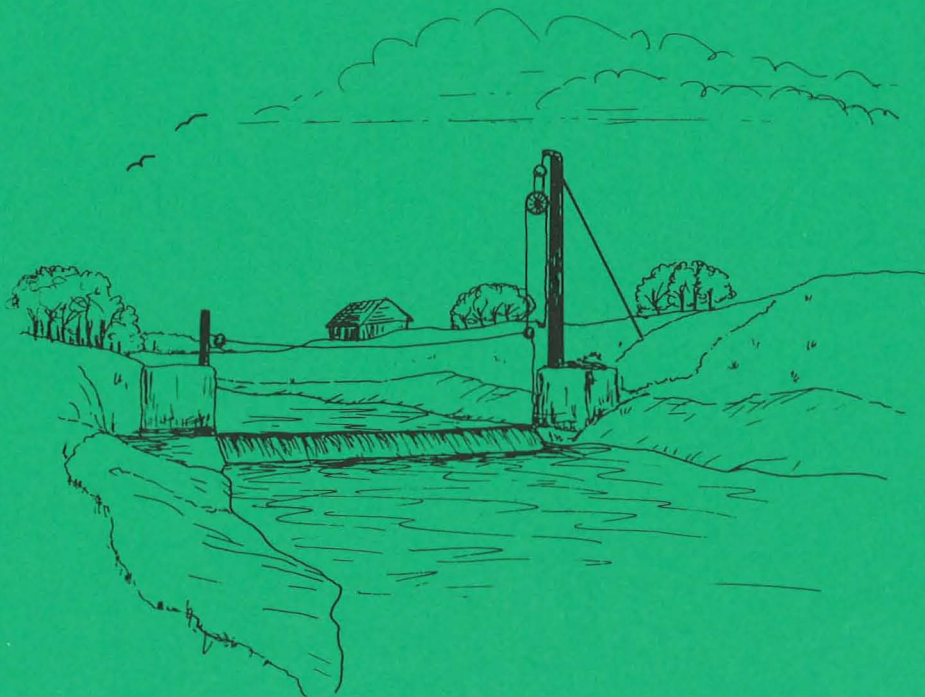


**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

INVERKAN AV UPPDÄMNING PÅ GRUNDVATTENSTÅND

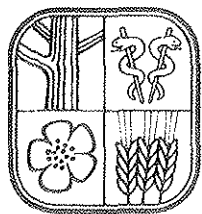
En studie på Mästermyr

Mikael Segerros



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Avdelningsmeddelande 87:5
Uppsala 1987**

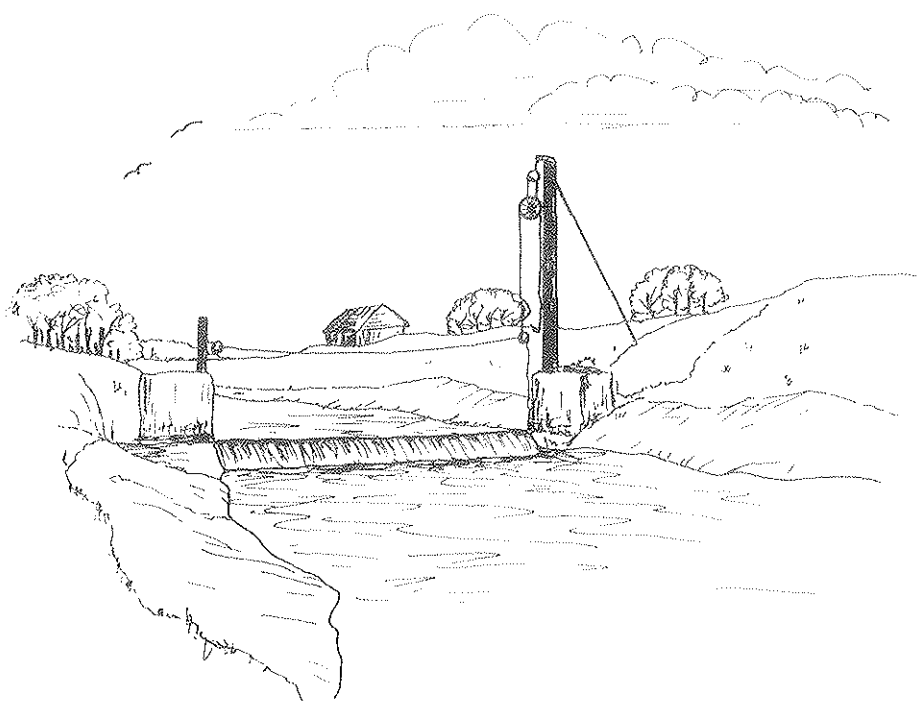


SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET

INVERKAN AV UPPDÄMNING PÅ GRUNDVATTENSTÅND

En studie på Mästermyr

Mikael Segerros



INNEHÅLLSFÖRTECKNING	sid.
0. INLEDNING	1
1. GRUNDVATTNETS VARIATIONER VID DÄMNING PÅ MÄSTERMYR	2
1.1 Innebörden av kontrollerad dränering	2
1.2 Undersökningsområdet på Mästermyr	3
1.2.1 Avvattningssystemet inom undersökningsområdet	3
1.2.2 Jordar och topografi inom undersökningsområdet	4
1.3 Metodik vid studier av grundvattenståndet inom området	7
1.3.1 Undersökningens uppläggning i fält	7
1.3.2 Tidsperioder för mätningarna av grundvattenståndet	8
1.3.3 Övriga undersökningar	8
1.4 Resultat från mätningarna av grundvattenståndet på Mästermyr	9
1.4.1 Grundvattenståndet före dämningen	9
1.4.2 Grundvattenståndet under dämningen	9
1.4.3 Grundvattenståndet efter avslutad dämning	10
1.4.4 Nederbördens inverkan på grundvattenståndet	11
1.4.5 Strömningsbilden inom försöksområdet	11
2. GRUNDVATTENNIVÅNS PÅVERKAN VID REGLERING AV VATTENSTÅNDET I EN KANAL. FÖRSÖK TILL TEORETISK ANALYS AV MÄTNINGAR PÅ MÄSTERMYR	12
2.1 Valda delar av tillämplig teori	12
2.2 Edelmans beräkningsmetod för bestämning av en grundvattenytas nivåförändring vid reglering av vattenståndet i en kanal	14
2.2.1 Vattenståndet i kanalen förändras plötsligt	15
2.2.2 Vattenståndet i kanalen förändras gradvis	16
2.2.3 Bestämning av markens genomsläpplighet med ledning av grundvattenståndsändringar	17
2.2.4 Beräkning av flödet på ett valfritt avstånd från en kanal	19

		sid.
2.3	Analys enligt Edelman med data från Mästermyr av dämningens inverkan på grundvattenståndet	19
2.4	Resultat av beräkningar på data från Mästermyr	22
2.4.1	Dämnings- och sänkningsdata från Mästermyr, utvalda som underlag för en teoretisk behandling	22
2.4.2	Teoretisk analys enligt Edelman av uppmätta mätdata från Mästermyr	23
3.	DISKUSSION ÖVER DÄMNINGENS FUNKTION OCH NYTTA, SAMT NÅGRA SYNPUNKTER PÅ MÖJLIGHETERNA ATT FÖRBÄTTRA DÄMNINGSEFFEKTEN	24
4.	PLANERING AV UTVIDGADE UNDERSÖKNINGAR	28
5.	SAMMANFATTNING	29
6.	FIGURER	32
7.	FÖRTECKNING ÖVER VARIABLERNA I EDELMANS LÖSNINGSMETOD	51
8.	LITTERATURFÖRTECKNING	52
9.	APPENDIX	
Bil. 1	Värden för $f_0(u)$, $f_1(u)$ och $f_2(u)$	
Bil. 2.	Anvisningar för bestämning av grundvattenytan enligt Edelman, samt några exempel	
Bil. 2.1	Beräkning av grundvattenståndsförändringen (Δh) vid en plötslig höjning av den fria vattenytan	
Bil. 2.2	Beräkning av grundvattenståndsförändringen (Δh) vid en gradvis stigande fri vattenyta	
Bil. 2.3	Bestämning av vissa hydrauliska egenskaper hos akvifären	
Bil. 3	Definitioner	

FÖRORD

Undersökningarna som ligger till grund för detta meddelande har utförts av agr. Mikael Segerros. Arbetet presenterades som ett examensarbete år 1983. Därefter har agr. lic. Anders Bjerketorp gjort en omfattande granskning och bearbetning av texten. Agr. Kerstin Berglund har slutfört bearbetningen och gjort arbetet klart för publicering. Figurerna har ritats av ing. Hans Johansson.

Uppsala i juni 1987

Harry Linnér

0. INLEDNING

Underbevattning är en bevattningsmetod som inte fått någon större omfattning i Sverige. I vårt land förekommer underbevattnade områden främst på vissa gotländska myrar och i Kvismardalen i Örebro län. På andra håll i världen, exempelvis i de holländska polderarna och i sydöstra USA, har metoden emellertid avsevärd omfattning.

Där underbevattning tillämpas, har den emellertid visat sig ha uppenbara fördelar såsom litet arbetsbehov och små investeringskostnader. Denna bevattningsform, där grödornas vattenbehov tillgodoses genom en artificiellt skapad grundvattenyta, kräver dock att vissa naturliga förutsättningar föreligger. Markytan inom det underbevattnade området bör vara så jämn som möjligt, helst bör nivåskillnaderna inom berörda fält ligga inom ± 10 cm. Jorden skall vara homogen och ha en hög genomsläpplighet. Tumregeln är ett genomsläpplighetsvärde på minst 1 m/dygn. Det måste också finnas antingen ett ogenomsläppligt lager under profilen eller en högt stående naturlig grundvattenyta. Det är få platser inom Sverige som har dessa förutsättningar.

Det finns olika tekniska metoder för underbevattning. I detta arbete behandlas kontrollerad dränering. Vattenståndet i kanalerna inom ett dikningsföretag regleras då med en rörlig dammlucka i huvudavloppet. Detta kommer att inverka på grundvattenståndet i angränsande fält. Metoden förutsätter inga anordningar utöver en reglerbar damm och det befintliga dräneringssystemet. Den kontrollerade dräneringen kan sägas vara ett sätt att bevara vinterns och vårens nederbörd för att tillgodose grödans vattenbehov under för- och högsommaren. Detta vattenhushållningssystem medger både dränering och bevattning. Om vattennivån i angränsande fält befinner sig högre än i dikena föreligger en dränerande situation och överskottsvattnet strömmar ut i kanalen och över dammluckan. Omvänt kommer vatten att strömma från diket och in i fälten, då dammluckans nivå hålls ovanför grundvattenytan ute i fältet.

Inom Coastal Plains, North Carolina, USA har ingående undersökningar av underbevattningens effekt och dess utförande gjorts. Därvid kunde det konstateras att den kontrollerade dräneringen var en effektiv metod att magasinera vatten för grödornas behov (Badr m.fl., 1982).

I vårt land är erfarenheterna av denna bevattningsform begränsad. För att få en uppfattning hur dämningen i kanalerna inverkar på grundvattnet utfördes under vegetationsperioden 1982 undersökningar av grundvattenståndet i en blekejord på Mästermyr, Gotland. Syftet var att specifikt belysa bevattning genom kontrollerad dränering på blekejordar. Flera delfrågeställningar formulerades: Hur långt ut från dikena påverkas grundvattenståndet då en reglering företas i kanalerna? Hur långt från markytan står grundvattnet under vegetationsperioden? Hur lång tid tar det innan grundvattennivån i fälten förändras då vattenståndet i kanalerna sänks eller höjs?

Redovisningen av studien är uppdelad i två huvudavsnitt. Det första avsnittet behandlar grundvattnets rörelser vid kontrollerad dränering. I denna del har de speciella markförhållandena på Mästermyr särskilt beaktats. Det andra avsnittet omfattar metoder för en teoretisk bearbetning av mätdata över grundvattenståndets förändringar i marken vid reglerad dränering. Observationer av grundvattnets uppträdande då vattenståndet i kanalerna ändras kan också bilda underlag för beräkning av markens genomsläpplighet. På grund av att fältförhållandena på Mästermyr inte var ideala kunde bara en begränsad del av materialet behandlas matematiskt. Flera förenklande antaganden gjordes vid den teoretiska behandlingen. Därför får den andra delen i detta arbete ses som en orientering för vidare undersökningar.

1. GRUNDVATTNETS VARIATIONER VID DÄMNING PÅ MÄSTERMYR

1.1 Innebörden av kontrollerad dränering

Vid kontrollerad dränering vidmakthålles en artificiell grundvattenyta genom en regleringsanordning i huvudavloppet. Schematiskt visas skillnaden mellan ett reglerat och ett oreglerat dräneringssystem i fig. 1.

När det regnar, infiltrerar vatten i markprofilen. Därmed höjs grundvattenytan och avrinningen mot kanalen ökar. Vatten bortförs också från profilen genom evapotranspiration (ET) samt genom horisontellt och vertikalt läckage. Bortförseln av vattnet medför ett minskat flöde mot kanalen. Hastigheten, med vilken vattnet rinner till eller från kanalen, bestäms av grundvattenytans höjd (h), profildjupet (D), vattenståndet i kanalen (y) samt markens genomsläpplighet (k) (se fig. 14 och 15).

I fig. 1, fall 1 visas situationen då vattenytan i kanalen står lågt och ett flöde till denna pågår. Grundvattenytan lutar starkt, speciellt i närheten av kanalen, och den magasinerade vattenvolymen är i avtagande. Då vattennivån i kanalen höjs genom en regleringsanordning (fall 2 i fig. 1), är fortfarande dränering möjlig, men den sker i mindre utsträckning. Under dessa förhållanden magasineras mer vatten i markprofilen. Vid torrperioder blir vattennivån så småningom lägre i fälten än i kanalen. Vatten strömmar då in i fälten från denna. För att en konstant grundvattennivå skall kunna uppehållas, måste tillflödet i kanalen vara tillräckligt stort för att ersätta de vattenförluster som uppkommer genom evapotranspiration och läckage av vatten ut ur området.

1.2 Undersökningsområdet på Mästermyr

Mästermyr ligger ca 4 kilometer öster om Hemse på södra Gotland; $57^{\circ}15'N$, $18^{\circ}16'O$. Myren dikades ut mellan 1902 och 1910. 1965 gjordes en ny förrättning varvid bottnarna i befintliga kanaler och diken sänktes. Detta var nödvändigt, eftersom markytan genom dikningen och bortodling sänkts med ungefär en meter på 50 år. Vid denna förrättning berördes 1665 ha båtnadsmark. Totala kanallängden var nära 30 km. Myren avvattnas huvudsakligen genom öppna diken och kanaler, i vilka vattenståndet på flera håll kan regleras genom dammluckor. Den största kanalen, Storkanalen, övergår i Snoderån, vilken mynnar i Östersjön. Snoderån har ett 187 km^2 stort avrinningsområde.

Vegetationsperioden är i medeltal 204 dagar och årsmedeltemperaturen $+7,2^{\circ}\text{C}$. Under året faller i medeltal 529 mm nederbörd och den potentiella evaporationen uppgår till 648 mm. Vattenunderskottet på 119 mm hänför sig till för- och högsommaren. Det största underskottet uppvisar juni med 70 mm. De vanligaste grödorna på denna myr är vall, stråsäd, potatis, morötter, sockerbetor och oljeväxter.

1.2.1 Avvattningsystemet inom undersökningsområdet

Undersökningsområdet omfattade ett ca 32 hektar stort område av Mästermyr (se kartan fig. 3). Huvudkanalen i detta område är Salmundskanalen, på kartan benämnd kanal O (K_0). Inom det berörda området ligger dess botten på nivå 11,95–12,40 m ö h och ungefär två meter under omgivande markyta.

Mellan en halv och en meter av släntens nedre delar genombryter moränen. Kanalen, vars bottenbredd är fem meter, har släntlutningen 1:1,5. I kanalen finns en höj- och sänkbar dammlucka (se fig. 2). Under den reglerade tidsperioden 1982 låg vattnets nivå vid dammläget mellan 12,98-13,30 m ö h.

Vinkelrät mot Salmundskanalen löper en sidokanal. Denna benämnes på kartan kanal 1 (K_1). Inom undersökningsområdet befinner sig botten av kanal K_1 på 12,20-12,70 m ö h. I kanal K_1 bryter schaktningen igenom moränen på en sträcka av 250 m räknat från kanal K_0 . Längre uppströms följer kanalbotten i stort sett moränytan. De diken, vilka på kartan (fig. 3) betecknas med K_2 - K_4 , avbördar vatten ut i K_1 . K_2 är i god funktion. K_3 och K_4 har ej underhållits och är därför kraftigt igenvuxna. De saknar fri vattenyta under den största delen av vegetationsperioden.

1.2.2 Jordar och topografi inom undersökningsområdet

Blekejordarna, d.v.s. myrjordar med blekeavlagringar, omfattar i vårt land inga större arealer. De förekommer i kalkrika trakter, främst på Gotland (Magnusson m.fl., 1963). Ett karakteristiskt strukturdrag i blekejordarna är den permanenta sprickbildningen (Ekström & Flodkvist, 1926).

För att studera sprickbildningen på Mästermyr grävdes en profil i punkt 21 (se fig. 4). Den låg i en andraårsvall 10 meter från kanal K_1 . I den undersökta profilen (fig. 4) bestod matjordsskiktet av mull som uppblandats med bleke genom plöjningen. Det fanns rikligt med maskgångar i matjordslagret. Under matjorden, från 23 till 50 cm djup, var jorden starkt sprickig. Här förekom decimeterstora sprickor fyllda med nedrasad matjord. På 40 cm djup uppmättes en spricka som var 43 cm bred. Inom skiktet 23-50 cm fanns också vertikala öppna sprickor som var 1-3 cm breda. Nämnas bör också att detta skikt var rikt på rotgångar, att jorden i fuktigt tillstånd mycket lätt kunde brytas sönder i kubikdecimeterstora block, samt att det på 45 cm djup fanns ett 2 cm tjockt sandlager. Från nivån 50 cm ned till 118 cm fortsatte det välutvecklade spricksystemet, men sprickornas bredd avtog med djupet. Den stora matjordsfyllda sprickan, som var 43 cm bred på 0,4 m:s djup uppmättes till 4 cm på 1 meters djup. Sprickor, av upp till 1 cm bredd på 30-40 cm avstånd från varandra, förekom ända ned till moränytan vilken låg 1,2 m under markytan. Moränen överlagrades av ett 2 cm tjockt sandlager.

Spricksystemet i detta jordmaterial, övervägande bestående av sjöbleke och lergyttja, är således mycket välutvecklat. Det är vidare möjligt att det finns decimeterbreda, ej matjordsfyllda sprickor ute i fältet. Vid borrhningarna hände det att borren plötsligt "föll igenom". Öppna stora sprickor har också konstaterats av Hallgren och medarbetare (1965) i undersökningar av en liknande jord på Bara myr. För en utförligare profilbeskrivning inom Mästermyr hänvisas till Berglund (1982).

För ögat ter sig det undersökta området av Mästermyr relativt plant. Den ytavvägning, som utfördes av området, visade dock att det förekom betydande variationer i markytans höjdlägen. Kartan i fig. 5 visar höjdkurvorna i rikets system RH00 inom det markområde som undersöktes. Av kartan framgår att inom området ligger den övervägande delen av markytan i höjdintervallet 13,80-14,00 m ö h, d.v.s. höjdvariationen är omkring 20 cm. Emellertid förekommer lokalt stora avvikelser i markytans nivå. Den högsta punkten i området befinner sig strax över 15 m ö h och den lägsta på ca 13,6 m ö h. Denna skillnad på ca 1,4 meter är således betydligt större än den variation på ± 10 cm som anses godtagbar för att erhålla en bra funktion av underbevattningen. Speciellt märks ett högt parti i den södra delen av området. Denna kulle består av löst material, ansamlat genom vinden. I den sydöstra delen samt kring diket K_1 är markytan också förhållandevis hög. Partiet kring 15 m ö h i det norra avsnittet är en ouppodlad moränkulle.

Den ogenomsläppliga moränbottnens variation i höjdlägen har också stor betydelse för vattenströmningen i marken. För en väl fungerande underbevattning bör ett sådant lager helst vara plant. Genom de borrhningar och sonderingar som gjordes på Mästermyr då undersökningen påbörjades konstaterades att området underlagras av hårt packad morän, vilken kan bedömas vara i det närmaste ogenomsläpplig. I figur 6 visas moränytans nivåer i rikets höjdsystem RH00. Av kartan framgår att myren underlagras av en ojämn moränyta. Lokalt, inom mindre områden, varierar moränytans nivå mer än vad figuren utvisar. Markundersökningarnas högsta uppmätta morännivå var 13,68 m ö h, och lägsta 11,82 m ö h, d.v.s. en skillnad på 1,86 meter.

Vid dammläget i Salmundskanalen hålls vattenståndet inom intervallet 13,00-13,10 m ö h under den övervägande delen av vegetationsperioden. Denna nivå blir också grundvattnets maximalt möjliga nivå i de omgivande fälten under sommaren vid normala nederbördsmängder. Där moränytan ligger

högre än 13,00-13,10 m ö h, kommer denna således att hindra grundvattnet att tränga vidare ut i fälten.

I stora drag kan området ses som ett avlångt tråg, vilket är djupast söder om diket K_1 , där moränytan ligger lägre än 12,40 m ö h. "Trågkanten" utgörs av den nivå där moränytan ligger över 13,00 m ö h. Vore "tråget" helt tätt, skulle grundvattenytan inom området så småningom teoretiskt sett ställa sig plant och på samma nivå som vattenytan vid dammen. Förutsättningen för detta är att ingen evapotranspiration sker.

Som vi kan se i fig. 6, finns det dock avbrott längs "trågkanten" där vatten kan läcka ut, d.v.s. där moränytans nivå ligger lägre än 13,00 m ö h. Störst betydelse har de två djupa rännorna, i figuren betecknade med R_1 och R_2 , vilka utgår från den djupare delen av "tråget" söder om K_1 . Som synes mynnar R_1 i Salmundskanalen strax nedanför dammen. Hur långt söderut R_2 sträcker sig är inte klarlagt i denna undersökning. Uppenbarligen kommer, på denna genomsläppliga jord, stora mängder vatten att söka sig ut via dessa rännor.

Strömningen av vatten till eller från kanal K_1 begränsas betydligt de första 200 metrarna räknat från kanal K_0 . I fig. 6 ser man att moränytan i kanalens närhet når en nivå som ligger mellan 13,10 m ö h och 13,20 m ö h. Då, som tidigare nämnts, moränen betraktas som ogenomsläpplig, förhindras vattnets strömning när vattenståndet i kanalen hålls kring den normala dämningshöjden under vegetationsperioden, d.v.s. 13,00-13,10 m ö h. Det vatten, som befinner sig rakt söder om detta parti, måste alltså ha sökt sig in från andra håll än vinkelrät ut från kanalen. På kartan i fig. 6 redovisas inte förekomsten av en del mindre, lokala bassänger som finns i området. I dessa kommer vattnet, under den senare delen av vegetationsperioden, att vara mer eller mindre påverkat av vattenståndet i kanalerna.

På grund av de ovan redovisade ojämnheter i markytan, dels i moränytan, kommer den jordvolym, i vilken vattnet kan strömma, att variera över fälten. Vid de markundersökningar som gjordes befanns att det sprickiga och vattenförande blekelagrets mäktighet varierade mellan 0,4 och 2 m inom hela det undersökta området. Blekedjupet inom det av dämningen berörda området håller sig övervägande inom intervallet 0,9-1,4 meter. Där det

tidigare omnämnda "tråget" har sina lägsta partier, är dock djupet 1,4-1,6 meter. I undersökningsområdets norra ytterkanter övergår dock bleken i fastmarksjord och blir därmed tunnare.

Vattenströmningen inom området blir, p.g.a. de här påtalade förhållandena, komplicerad. Detta beror dels på de påvisade variationerna i det sprickiga och vattenförande lagrets tjocklek, dels på de två stora "rännor" som löper ut ur systemet samt det hinder för inströmning av vatten som det högt liggande moränpartiet kring en del av kanal K_1 utgör.

1.3 Metodik vid studier av grundvattenståndet inom området

1.3.1 Undersökningens uppläggning i fält

Undersökningen påbörjades i slutet av april 1982. Då lades ett system av grundvattenståndsrör ut. Mätpunkterna är förlagda i ett koordinatsystem enligt kartan fig. 3. Med kännedom om utgångspunkterna för detta kan de lätt återfinnas, och hela eller delar av undersökningen upprepas, om så önskas. Origo är bestämt till skärningspunkten mitt i Salmundskanalen (K_0) och det stora diket (K_1). Härvid är x-axeln parallell med kanal K_0 och positiv uppströms, y-axeln är parallell med kanal K_1 , även den positiv uppströms. Det undersökta markområdet kan indelas i två områden. Ett norr om kanal K_1 och ett söder om kanal K_1 . Inom det södra området lades mätpunkterna (1-18) in i ett regelbundet rutsystem. I det norra området placerades mätpunkterna (19-35) glesare och oregelbundet för att i gengäld täcka grundvattenvariationerna inom ett större område.

Sammanlagt mättes grundvattennivån i 35 mätpunkter. Vid mätningarna användes 1" grundvattenståndsrör utom på tre ställen (9, 33, 35), där brunnar utnyttjades. Grundvattenytans läge i förhållande till toppen på grundvattenståndsröret erhöles genom att använda ett graderat rör med ett munstycke i nederänden. Genom att blåsa luft i röret samtidigt som det sänktes ned i grundvattenståndsröret, kunde man höra när vattenytan nåddes. Denna metod medger en mätnoggrannhet på 1 cm.

Även vattenytan i kanalerna bestämdes. Vattenståndet i de senare mättes i förhållande till höjdbestämda pålar nedslogna i kanalslänterna. Vattennivån uppmättes från pålarnas överände. Även brotrummor och dammfundamentet

användes för detta ändamål. Mätpunkter för den fria vattenytan i kanalerna är betecknade med triangel (∇) i fig. 3.

Samtliga mätpunkter i kanalerna och toppen på grundvattenståndsroren avvägdes. Höjderna omräknades till rikets höjdsystem RH00. Därigenom kunde grundvattenytan relateras till vattenståndet i kanalerna. Markytan i anslutning till mätpunkterna avvägdes också. Som fixpunkt valdes p. +15,62 (järndubb i sten) vid vattenmagasinet, ca 1100 meter norr om brunnen (33). Inom försöksområdet lades också extra fixpunkter in, dels nordvästra dammfundamentet +13,38, dels "Börjes fix", kryss i sten +14,91.

1.3.2 Tidsperioder för mätningarna av grundvattenståndet

Mätningarna under år 1982 utfördes från och med 21.4 till och med 30.9. Med ca tre veckors intervall gjordes mätningar i samtliga punkter. Däremellan gjordes en gång i veckan mätningar i ett färre antal rör. Under perioderna 21.4-23.4, 14.5-16.5, 1.6-4.6, 22.6-24.6 samt 19.7-22.7 uppmättes vattenståndet dygnsvis. Reglering av vattenståndet med hjälp av dammluckan började den 28.5 och avslutades den 12.9. Under perioden 22.6-23.6 utfördes en tillfällig sänkning av vattenståndet med 15 cm. Påföljande dygn höjdes vattenståndet i kanalerna med 11 cm. Under denna tidsperiod avlästes grundvattenståndet i samtliga rör med 4 timmars intervall. Detta för att belysa grundvattenståndsändring omedelbart efter vattenståndsregleringar i kanalerna.

1.3.3 Övriga undersökningar

För att belysa i vilken grad nederbörden hade inflytande på grundvattenståndet under vegetationsperioden registrerades denna för området. Vidare gjordes genomsläpplighetsmätningar enligt borrhålsmetoden i punkterna 2, 6, 10, 14, 17, 22, 26 och 29. Värdena från dessa mätningar blev dock osäkra, dels p.g.a. den snabba stigningen i vissa hål, dels genom att jord flöt ut i hålet, då vattnet skulle avlägsnas med lyftaren. För att söka undvika det senare problemet provades i september att fodra borrhålen med perforerade plaströr. Som tidigare nämnts, gjorde Berglund (1982) en profilstudie på Mästermyr. Denna provgrop grävdes inom en del av området där moräntan ligger så högt att denna plats inte berörs av regleringarna i Salmunds-kanalen. Därför undersöktes ytterligare en profil i punkt (21) inom området.

1.4 Resultat från mätningarna av grundvattenståndet på Mästermyr

1.4.1 Grundvattenståndet före dämningen

Då undersökningen inleddes den 21.4 hade inga regleringar ännu påbörjats, och vattenståndet vid dammen var 12,17 m ö h. Vatten strömmade då från fälten och ut mot diken och kanaler, d.v.s. en dräneringssituation förelåg. Grundvatten fanns i blekelagret inom hela området, med undantag för några mindre, lokala platser. Inom en stor del av de undersökta fälten var grundvattennivån över 13,10 m ö h. I kanalernas närhet stod grundvattnet i stort sett på 13,00 m ö h. Vid dessa dränerande förhållanden iaktogs att den i avsnitt 1.2.2 omnämnda moräntröskeln vid K_1 hindrade vattenströmningen mot denna kanal.

Isovattenståndslinjerna i fig. 7 visar vattenståndet den 27.5 ett dygn innan Salmundskanalen dämdes. De skuggade partierna är områden, i vilka grundvattennivån stod lägre än moränytan, och således inte kunde uppmätas. Sedan den 21.4 hade grundvattennivån sjunkit avsevärt. Den 27.5 stod grundvattnet omkring en meter från markytan inom större delen av området. Under tidsperioden mellan 21.4 och 27.5 hade ca 60 mm regn fallit.

1.4.2 Grundvattenståndet under dämningen

Den 28.5 dämdes kanalen. De första mätningarna av grundvattenståndet efter dämningen utfördes den 1.6. Fig. 8, visar grundvattennivån vid denna tidpunkt, tre dygn efter det att dämningen inletts. Vattennivån vid dammläget var då 13,20 m ö h, vilket innebär att vattenståndet hade höjts med ca 1 meter sedan den 27.5. I detta läge strömmade vatten från kanalerna och ut i omgivande mark. Mätningar utförda mellan den 1.6 till den 4.6 visade att inga ytterligare förändringar i grundvattenståndet inträffade under denna tidsperiod. Det är troligt att grundvattenståndet redan den 30.5, d.v.s. två dygn efter dämningens påbörjan, nått detta jämviktsläge. 0-30 meter närmast kanal K_1 var grundvattnet i samma nivå som vattenytan i kanalen. Vi ser vidare i figuren att 13,00 metersfronterna vände och befann sig på avståndet 100-200 meter från K_1 . 12,80 metersfronten trängde också fram något. +13,00 metersfronten låg emellertid något efter i området närmast kanal K_0 . Detta kunde bero på att moränen hindrade vattnets inströmning från K_1 samt att betydande vattenmängder strömmade ut genom R_1 . Den 1.6

befann sig grundvattnet 0,8–1 m från markytan. Perioden 27.5–4.6 föll ingen nederbörd.

Fig. 9 visar grundvattenståndet den 22.6, nästan en månad efter det att vattnet börjat hållas upp i kanalerna. Vattenytan i dessa stod då 13,28 m ö h, d.v.s. åtta centimeter högre än den 1.6. Av figuren framgår att +13,20 metersfronten "trängit ut" i fälten i den norra delen av försöksområdet. "Piken" i det norra området uppstod på grund av diket K_2 . Däremot drog sig +13,00 och +12,80-fronterna betydligt tillbaka i det södra området. Detta måste ha berott på att tillflödet i systemet inte kunnat kompensera avgången genom evapotranspirationen och läckaget genom rännorna R_1 och R_2 . Nederbörden i form av regn var mellan den 1.6 och 22.6 ca 20 mm.

Den 19.7, d.v.s. ca två månader efter dämningen, var vattenståndet i kanalerna 13,01 m ö h. I stora delar av fälten kunde inget grundvatten påvisas ovanför moränen. +13,00-nivån låg då i anslutning till K_1 , utom i den nordvästra delen av området, där den befann sig längre ut. I stort sett sjönk grundvattennivån mellan den 22.6–17.7 från 13,20 m ö h till 12,80 m ö h, en sänkning med 40 cm. Där grundvatten kunde påvisas, befann sig detta 1–1,2 meter från markytan. Det regnade ca 56 mm från den 22.6 till den 19.7.

Den 13.8 kunde grundvatten bara påvisas i en relativt liten del av fälten, trots ett förhållandevis högt vattenstånd vid dammen. I den västra delen kring K_1 kunde grundvattennivån hållas mellan 12,80 till 13,00 m ö h. I övrigt stod vattnet betydligt lägre. Detta måste till stor del ha berott på utströmning i blekelagret genom rännorna i moränen vid R_1 och R_2 . Från den 19.7 till den 13.8 föll ingen nederbörd.

1.4.3 Grundvattenståndet efter avslutad dämning

Mellan den 13.8 och den 30.9 föll det 88 mm regn. Fördämningen i Salmunds-kanalen togs bort den 12.9, och grundvattenståndsmätningar utfördes sista gången den 30.9, 18 dagar efter dammluckans nedsänkande. Vattenståndet vid dammen uppmättes då till 12,12 m ö h. Vid denna tidpunkt var fälten så gott som helt tömda på grundvatten i blekelagret. Det enda kvarvarande vattnet var en liten bassäng i den djupare delen av moränsvackan kring K_1 .

1.4.4 Nederbördens inverkan på grundvattenståndet

Under den tid som försöket pågick uppmättes 222 mm nederbörd. Denna fördelade sig på 10 mm i april, 47 mm i maj, 63 mm i juni, 14 mm i juli, 50 mm i augusti och 38 mm i september. Det kunde inte påvisas någon inverkan av nederbörden på grundvattenståndet i området söder om kanal K_1 . I partierna norr om K_1 höjdes däremot grundvattennivån då det regnade. Detta framgår av fig. 10 vilken visar hur grundvattenståndet i mätpunkt 30 i det norra området varierade under försöksperioden. Nederbörden i mm är i diagrammet markerad med staplar under markytan.

1.4.5 Strömningsbilden inom försöksområdet

Grundvattnet sjönk successivt under hela försöksperioden trots dämningen i Salmundskanalen. Det sjönk långsammast i närheten av kanal K_1 . Fig. 11 beskriver hur vattenståndet i punkt 17, som ligger 20 meter från kanal K_1 , varierade. På större avstånd från kanal K_1 sjönk vattnet undan betydligt snabbare, se fig. 12. Grundvattenytan i punkt 17 nådde moränbotten mellan den 22.7 och 30.7, varefter inget grundvatten kunde påvisas på denna plats under mätperioden.

Med ledning av markförhållandena och grundvattnets nivåer, under vegetationsperioden, kan en schematisk strömningsbild (fig. 13) konstrueras för området söder om kanal K_1 , från vilket en betydande utströmning föreligger. Av strömningsbilden framgår att vattnet varken strömmar parallellt eller vinkelrät ut från kanal K_1 . Märk i fig. 13 att "rännan" R_1 mynnar strax nedanför dammen. Stora vattenmängder hade med säkerhet kunnat sparats inom det berörda markområdet om dammläget varit placerat längre nedströms i Salmundskanalen. Därigenom hade troligen en del av variationerna i grundvattenståndet inom fältet undvikits. I området norr om kanal K_1 föreligger mindre förluster av vatten genom läckage, jämfört med det söder om kanal K_1 . Detta visade sig bl.a. i att grundvattenytan höjdes då det regnade.

2. GRUNDVATTENNIVÅNS PÅVERKAN VID REGLERING AV VATTENSTÅNDET I EN KANAL. FÖRSÖK TILL TEORETISK ANALYS AV MÄTNINGAR PÅ MÄSTERMYR

2.1 Valda delar av tillämplig teori

Grunden för den teoretiska behandlingen av grundvattenströmning är en kombination av Darcys lag och kontinuitetsekvationen. Denna kombination leder till Laplaces ekvation, vilken är grundläggande vid behandling av två eller tredimensionella strömningsproblem (Dieleman & Ridder 1972, sid 174).

Emellertid leder en strömningsanalys efter Laplaces ekvation till mycket komplicerade beräkningar. Dupuit (1863) gav anvisningar för en förenklad behandling av strömningsberäkningarna. Därvid antog han

- 1) Att grundvattenströmningen skulle betraktas som endimensionell.
- 2) Att en lutande vattenyta är en förutsättning för vattnets rörelse framåt och att vattnets strömningshastighet är direkt proportionell mot denna vattenytas lutning i det studerade tvärsnittet.

En endimensionell strömning innebär att vattnet strömmar rakt framåt utan någon rörelse åt sidorna i likhet med vad som sker i en öppen kanal med helt ogenomsläppliga slänter. Grundvattenströmningen kan i allmänhet delas upp i ett antal sådana kanaler eller strömrör (Dieleman & Ridder 1972 sid 176).

Med hjälp av Dupuits antaganden utvecklade Forchheimer (1914) en differential-ekvation vilken gjorde det möjligt att i en markvattenström bestämma grundvattenytans höjdläge över ett ogenomsläppligt lager. Strömningsbilden i stort skall dock vara klarlagd med definition av gränsvillkoren. Ekvationen skrives

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} = 0 \quad \text{där} \quad (1)$$

h = grundvattenytans höjd över ett ogenomsläppligt lager

x = x -koordinaten där grundvattenytans höjd sökes

y = y -koordinaten där grundvattenytans höjd sökes

Kombinationen av Dupuits antaganden och Forchheimers ekvation benämns i litteraturen "Dupuit-Forchheimers antaganden", förkortat "D-F-antagandena". Dessa används ofta vid matematisk behandling av problem rörande grundvattnets strömning (Dieleman & Ridder 1972, sid 177-179).

Det ovan sagda gäller vid stationär strömning, d.v.s. strömning som är konstant och oberoende av tiden. Men om ett vattenmagasin fylls på eller tappas av i marken kommer vattenflödet att förändras med tiden på ett givet avstånd från källan. Hastigheten av flödesförändringen beror dels på den tillströmmande vattenmängden, dels på markens genomsläpplighet men också av gradienten i markens vattenhalt. Förändringen av grundvattenmagasinet visar sig genom antingen en höjning eller en sänkning av grundvattenytan. Vid beräkningar av grundvattenytans nivåförändringar måste hänsyn tas till jordens effektiva porositet (μ). Denna definieras som

$$\mu = \frac{\Delta W}{\Delta h} \quad \text{där} \quad (2)$$

ΔW = förändringen i jordens vattenhalt då grundvattenytan höjs eller sänks
 Δh = den aktuella nivåförändringen av grundvattenytan.

Den effektiva porositeten är avhängig av spricksystemet i marken, samt partikelstorleken och sorteringsgraden hos jorden. De lägsta värdena för μ återfinns hos leror ($\frac{1}{2}$ -5 %) och de högsta i grov sand (20-35 %).

Med ytterligare en ekvation, uppställd av Boussinesq (1903) kan grundvattenytans nivåförändring i marken bestämmas då vattennivån i exempelvis ett dike höjs eller sänks. Ekvationen skrives

$$\mu \frac{\delta h}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} \left(k h \frac{\delta h}{\delta x} \right) \pm R, \quad \text{där} \quad (3)$$

h = grundvattenytans höjd i förhållande till ett ogenomsläppligt lager (m)

t = den tid som förflutit sedan vattenståndet i kanalen förändrades
 (sek, tim, dygn)

k = permeabilitetskoefficienten (m/s, m/tim, m/dygn)

μ = effektiva porositeten (dimensionslös)

x = vinkelräta horisontella avståndet från kanalen till den punkt där grundvattenytans höjd säks (m)

R = nederbörd (+) eller evapotranspiration (-) (m)

Boussinesqs ekvation kan lösas på flera sätt. Skaggs (1975) och Badr m.fl. (1982) har anvisat numeriska lösningsmetoder. Dessa lösningsmetoder förutsätter tillgång till datamaskin. Markens genomsläpplighetsförmåga kan vidare bestämmas från studier av en grundvattenytas variationer i fält enligt en av Skaggs (1976) anvisad metod.

I denna undersökning av dämning på Mästermyr har resultaten behandlats efter en metod som anvisades av Edelman (1947). Denna metod leder till en enklare ekvation för vilken grafiska lösningar anvisats.

2.2 Edelmans beräkningsmetod för bestämning av en grundvattenytas nivåförändring vid reglering av vattenståndet i en kanal.

Betrakta figurerna 14 och 15. Dessa visar ett tänkt tvärsnitt av marken, vinkelrät med en kanal. Marken underlagras av ett plant ogenomsläppligt lager. Akvifärens djup, vilket är avståndet mellan grundvattenytan och det ogenomsläppliga lagret betecknas med D . Jorden ovanför det ogenomsläppliga lagret antas vara homogen och isotrop (lika egenskaper i alla riktningar). I första hand avser kraven på homogenitet och isotropi markens genomsläpplighetsförmåga. Kanalbottnen ligger i anslutning till det ogenomsläppliga lagret. I kanalen står vattenytan ursprungligen på höjden y_0 över det ogenomsläppliga lagret. På samma nivå befinner sig också grundvattenytan i omgivande mark.

Om vattenytan i kanalen plötsligt höjs med värdet Δy vid $t = 0$, kommer vatten att strömma från kanalen och in i marken (fig. 14). Höjningen av vattenytan i kanalen kommer att återverka på grundvattenytan i fältet på ett allt större avstånd från kanalen allteftersom tiden fortskrider (t_1 , t_2 , t_3 osv). Vattenströmningen in i fältet kommer att fortgå till dess att ett nytt jämviktstillstånd inträder. Hastigheten med vilken grundvattennivån förändras beror på markens genomsläpplighetsförmåga och effektiva porositet. En förutsättning är också att tillströmningen av vatten i kanalen är så stor att det önskade kanalvattenståndet kan hållas uppe.

Om det omvända sker, d.v.s. att vattenytan i kanalen plötsligt sänks med värdet Δy , strömmar vattnet från marken till kanalen (fig. 15). Därigenom sänks grundvattenytan i fältet successivt. Detta sker liksom vid höjningen, allt längre in i fältet till dess ett jämviktstillstånd inträtt. Såväl vid

höjningen som sänkningen förutsätts att inget vatten tillförs genom nederbörd eller bortförs genom evapotranspiration och läckage.

Dessa förlopp kan beskrivas genom Boussinesqs ekvation utan R-term

$$\frac{\delta h}{\delta t} = \frac{k D}{\mu} \cdot \frac{\delta^2 h}{\delta x^2}$$

D betecknar i ekvationen akvifärens djup till ett ogenomsläppligt lager.

Edelman (1947) visade att lösningen till Boussinesqs ekvation kan erhållas genom att ställa ihop de ingående variablerna i två grupper, T och u, var- efter möjlighet till grafisk lösning föreligger

$$T = \frac{kD}{\mu} t \quad (5)$$

$$u = \frac{x}{2\sqrt{T}} = \frac{x}{2\sqrt{kDt/\mu}} \quad (6)$$

Edelman anger förfarandet för två fall av förändringar i kanalens vattenstånd. Det första fallet är att vattennivån i kanalen ändras plötsligt. Detta förutsätter mycket stora tillflöden och/eller små volymer i kanalerna som ska fyllas upp. Det andra fallet vilket behandlar den mera normala situationen vid dämning är att vattenytan i diket höjs eller sänks successivt. Beräkningen är dock begränsad till en nivåförändring som är direkt proportionell mot tiden, d.v.s. att förändringen sker linjärt.

2.2.1 Vattenståndet i kanalen förändras plötsligt med Δy

Ekvationen för förändringen av grundvattenståndet Δh vid en plötslig sänkning av vattennivån i en kanal kan skrivas

$$\Delta h = y_0 - h = -\Delta y \cdot f_0(u), \quad \Delta y > 0 \quad (7)$$

Vid en plötslig höjning av kanalvattenståndet kan grundvattennivån beräknas genom formeln

$$\Delta h = \Delta y \cdot f_0(u), \quad \Delta y < 0 \quad (8)$$

i ovanstående två ekvationer står beteckningarna för:

Δh = förändringen av grundvattennivån från det ursprungsläge denna hade vid tiden 0.

y_0 = avståndet mellan det ogenomsläppliga lagret och kanalens vattenyta innan vattennivån förändrades, y_0 är lika med D.

u = en hjälpvariabel som erhålls enligt ekvation 6

$f_0(u)$ = den komplementära felfunktionen (tab 1, bil 1).

Randvillkoren för ekvationerna 7 och 8 är:

$$\begin{cases} h_0 = y_0, & 0 < x < \infty, & t = 0 \\ h_1 = y_0 - \Delta y, & x = 0, & t > 0 \end{cases}$$

Då beräkningarna utförs kan hjälpvariablerna införas varvid ekvation 7 kan skrivas

$$\Delta h = - \Delta y f_0 \left(\frac{x}{2\sqrt{\frac{kD \cdot t}{\mu}}} \right) \quad (9)$$

och ekvation 8 kan skrivas:

$$\Delta h = \Delta y f_0 \left(\frac{x}{2\sqrt{\frac{kD \cdot t}{\mu}}} \right) \quad (10)$$

Beteckningarna i ovanstående två ekvationer har tidigare angiven betydelse.

2.2.2 Vattenståndet i kanalen förändras gradvis till Δy .

Det normala förloppet vid dämning eller sänkning är att kanalens vattennivå förändras successivt till dess vattnet rinner över överfallet. Hastigheten varmed kanalens vattenyta stiger eller sjunker kan då betecknas med α (m/dygn). Vattenytans nivåförändring (Δy) från tiden 0 blir då αt . Även vid beräkningarna av grundvattenstånd vid en successiv ändring av kanalvattenytans nivå används hjälpfaktorerna T och u .

Vid en sänkning ($\Delta y = \alpha t$) av kanalvattenståndet erhålles grundvattenytans nivåförändring ur ekvationen

$$\Delta h = y_0 - h = -\alpha' t f_2(u), \quad \Delta y > 0 \quad (11)$$

och om vattenytan i kanalen höjs används

$$\Delta h = \alpha' t f_2(u), \quad \Delta y < 0 \quad (12)$$

$f_2(u)$ är $f_0(u)$ s andraderivata. Beräkning av α' sker efter formeln,

$$\alpha' = \frac{\mu}{kD} \alpha \quad (13)$$

Randvillkoren inom vilka dessa ekvationer har giltighet är

$$\begin{cases} h = y_0, & 0 < x < \infty, & t < 0 \\ h = y_0 - \alpha t, & x = 0, & t > 0 \end{cases}$$

Efter införandet av de tidigare nämnda hjälpvariablerna kan ekvation 11 skrivas

$$\Delta h = -\alpha t f_2 \frac{x}{2\sqrt{\frac{kD \cdot t}{\mu}}} \quad (14)$$

och ekvation 12 kan skrivas

$$\Delta h = \alpha t f_2 \frac{x}{2\sqrt{\frac{kD \cdot t}{\mu}}} \quad (15)$$

I ekvationerna 14 och 15 har beteckningarna de tidigare angivna betydelserna.

2.2.3 Bestämning av markens genomsläpplighet med ledning av grundvattenståndssändringar

Med hjälp av Edelmans lösningsmetod kan markens genomsläpplighetsförmåga beräknas ur observationer av grundvattenytans variationer vid reglering av vattenståndet i kanalen, d.v.s. k kan bestämmas om D , t , x , Δy , Δh och μ kan uppmätas. Beräkningen av k kan ske på två sätt. Det första

sättet är en explicit lösning av ekvationerna 9, 10, 14 och 15. Vid en plötslig förändring av kanalens vattenstånd kan k således beräknas genom formeln

$$k = \frac{\mu}{D \cdot t} \left[\frac{2}{x} f_0(u)^{-1} \frac{\Delta h}{\Delta y} \right]^{-2} \quad (16)$$

och vid en successiv förändring av kanalvattenståndet erhålls k ur relationen.

$$k = \frac{\mu}{D \cdot t} \left[\frac{2}{x} f_2(u)^{-1} \frac{\Delta h}{\Delta y} \right]^{-2} \quad (17)$$

$f_0(u)^{-1}$ och $f_2(u)^{-1}$, d.v.s. inverterade värdena av $f_0(u)$ och $f_2(u)$ erhålls ur tabell 1 i bilaga 1.

Ekvationerna 16 och 17 medger således bestämning av markens permeabilitet utifrån observationer av grundvattenståndsförändringarna i en mät punkt.

Den andra metoden för beräkning av genomsläppligheten förutsätter observationer i flera punkter som ligger i en linje vinkelrät mot kanalen. Därigenom erhålls ett medelvärde för genomsläppligheten inom ett större markområde längs denna linje. Om mätningarna gjorts vid en plötslig förändring av kanalvattenståndet bestäms k -värdet genom att observerade mätdata i form av kvoterna $\frac{\Delta h}{\Delta y}$ och $\frac{x}{\sqrt{t}}$ plottas på ett dubbellogaritmiskt papper. Den erhållna kurvan jämförs med en typkurva i vilken tabellerade värden för $f_0(u)$ avsatts mot u . Då de två kurvorna sammanfaller avläses korresponderande värden för u och $\frac{x}{\sqrt{t}}$. De avlästa värdena för u och $\frac{x}{\sqrt{t}}$ sätts in i formeln,

$$\sqrt{\frac{kD}{\mu}} = \frac{1}{2} \frac{x}{\sqrt{t}} \frac{1}{u} \quad (18)$$

Om värdena för D och μ är kända kan k därefter beräknas. Vid en successiv förändring av kanalens vattenyta bestäms k på motsvarande sätt genom att en typkurva där $f_2(u)$ avsatts mot u jämförs med "kurvan för observerade värden", där $\frac{\Delta h}{\Delta y}$ plottats mot $\frac{x}{\sqrt{t}}$.

2.2.4 Beräkning av flödet på ett valfritt avstånd från en kanal

Vid en plötslig höjning av vattenytan i en kanal, kan flödet på ett valfritt avstånd (x) från denna erhållas genom formeln,

$$q_x = kD \cdot \Delta y \cdot T^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{e^{-(u^2)}}{\sqrt{\pi}} \quad (19)$$

där q_x är flödet för en meters bredd av den studerade marken. Det valfria avståndet (x) är inbegripet i faktorn u (se ekvation 6). Övriga beteckningar har tidigare angiven betydelse. Värden för

$\frac{e^{-(u^2)}}{\sqrt{\pi}}$ återfinns i tab. 1, bil. 1. Vid en successiv höjning av vattennivån i kanalen, kan flödet beräknas genom relationen

$$q_x = \alpha' T^{\frac{1}{2}} kD f_1(u) \quad (20)$$

Värden på $f_1(u)$ återfinns i tab. 1 bil. 1. Vid kanalslätten reduceras ekvation 20 till

$$q_0 = 1.13 \alpha' T^{\frac{1}{2}} kD \quad (21)$$

En fullständigare genomgång av beräkningsmetoderna för dels en plötsligt stigande eller sjunkande vattenyta dels en kontinuerligt stigande eller sjunkande vattenyta redovisas i bil. 2. Där visas också hur k -värdet bestäms genom en jämförelse mellan "observerad kurva" och typkurvan. För ytterligare information om lösningsmetoderna hänvisas till Wesseling (1972).

2.3 Analys enligt Edelman med data från Mästermyr av dämningens inverkan på grundvattenståndet

För att få en koppling mellan Edelmanns teori och de uppmätta grundvattenståndsvariationerna vid reglering av vattenståndet i en kanal på Mästermyr bearbetades vissa mätresultat från undersökningen enligt det i föregående avsnitt refererade beräkningsförfarandet. Beräkningarna gjordes på grundval av mätresultaten under år 1982 för dels perioden 28.5-1.6 och dels perioden 22.6-24.6.

Vid den teoretiska behandlingen enligt Edelman måste vissa ideala, enkla förhållanden antas råda inom en akvifär. Förhållandena i naturen är oftast mycket komplicerade och detta var fallet också på Mästermyr. En jämförelse av figurerna 14 och 15 med figurerna 16 och 17 ger vid handen att situationen på Mästermyr avsevärt avviker från de för teorin gällande enkla förhållandena.

Huvudkanalen inom avvattningssystemet för området är Salmundskanalen, kanal K_0 (se fig. 3). Dammen (vid ∇_3) ligger emellertid för högt uppströms för att några betydande vattenmängder från kanal K_0 skulle ha möjlighet att rinna in i det södra området, där mätpunkterna var utsatta i raka linjer. I stället antogs kanal K_1 vara den kanal varifrån vattnet strömmade ut i marken. Eventuell inverkan av de grunda och igenvuxna dikena K_3 och K_4 beaktades ej. Som tidigare redovisats i avsnittet om markförhållandena, förhindras vattnets inträngande i marken vinkelrät från kanal K_1 delvis av den moränrygg som sträcker sig från skärningspunkten, kanal K_1 - kanal K_0 till 200 meter uppströms kanal K_1 . På grund av detta förhållande uteslöt de från kanalen K_1 vinkelrät löpande linjerna av grundvattenståndsrören 15, 10, 6, 1 respektive 16, 11, 7, 2 (Se fig. 3) från den matematiska behandlingen. Grundvattenläget vid dessa linjer måste också influeras starkt av utflödet genom den tidigare beskrivna "rännan" R_2 (Se fig. 6) samt det låga vattenståndet nedströms dammen i kanal K_0 . Av de totalt fyra från kanalen vinkelrät löpande linjerna av grundvattenståndsrör återstod därför två att behandla matematiskt. Dessa är i fig. 3 betecknade med linje A (rören 17, 12, 8, 3) och linje B (rören 13, 9, 4). Det framgår av figur 13 att strömningen längs linje A och B dock inte är parallell, åtminstone inte på större avstånd från kanal K_1 . Trots detta valdes att matematiskt försöka behandla grundvattenståndsförändringarna inom det område som begränsas av dessa linjer.

I avsnittet om markförhållandena angavs nivån +13 m som gräns för vattnets framträngande från kanalen vid den regleringshöjd som hålls vid dammen. I linje A nådde moränytan nivån +13 m ca 320 m från kanal K_1 och för linje B är detta avstånd ca 250 m. Således blir 250-300 m akvifärens maximalt möjliga utsträckning under sommaren. Som omnämnts i avsnitten 1.4.2 och 1.4.5 är det sannolikt att det förekom stora vattenförluster från området främst genom läckage i rännorna R_1 och R_2 men också genom evapotranspiration.

Ett studium av fig. 16 och 17 ger vid handen att det svårgenomsläppliga lagret på Mästermyr, d.v.s. den underlagrande grundmoränen, inte var plant. Detta begränsar exaktheten i Edelmanns lösningsmetod. Då vidare fig. 16 och 17 jämförs med fig. 14 och 15 framgår det att grundvattenytan på Mästermyr ej var horisontell innan förändringar av kanalvattenståndet företogs. Därför antogs det att den "horisontella" grundvattenytan före dämning hade samma nivå som grundvattenytan hade på ett avstånd från kanalen där ingen inverkan av regleringarna kunde påvisas. Hur denna anpassning gjordes framgår av fig. 18. Grundvattnets nivå före dämning bestämdes på så sätt till 12,80 m ö h. Vattenståndet i kanalen höjdes mellan den 23.6 och 24.6 med 11 cm (Δy) och hamnar då på 12,91 m ö h. Grundvattennivån i marken kom att höjas med värdet Δh utgående från 12,80 m ö h. Ett liknande resonemang gällde för sänkningen mellan den 22.6 och 23.6. Värdet på Δy var då 15 cm och motsvarade en sänkning av kanalens vattenstånd från 12,80 m ö h till 12,65 m ö h.

En ytterligare svårighet utgjorde bestämningen av μ d.v.s. den effektiva porositeten. Då μ beräknades användes Berglunds (1982) volymsdiagram för profilen Mästermyr. Genom att anta att μ var den luftfyllda porandelen vid 1 meters dränering ($W_{t\ 1.0}$) bestämdes μ till 0,18.

Vid den första ansatsen att med Edelmanns metod beskriva grundvattenvariationerna användes genomsläpplighetsvärdet 12 m/dygn (Berglund 1982). Detta laboriemässigt bestämda värde, visade sig för lågt för att förklara den påverkan på grundvattenståndet som i verkligheten skedde. Därför prövades en till två tiopotenser högre k-värden varvid bättre överensstämmelse mellan teoretiska och observerade dämningsskurvor erhöles.

För regleringsperioden 28.5–1.6 förelåg otillräckliga mätvärden på grundvattenytans läge. Det observerades emellertid att från dämningens påbörjan den 28.5 till dess att kanalerna var fyllda med vatten upp till dammens överkant, dröjde det ett och ett halvt dygn, d.v.s. 36 timmar. Under denna tidsperiod steg den fria vattenytan från 12,40 m ö h till 13,20 m ö h d.v.s. 0,8 m. Härur skattades vattnets stighastighet (α) till 0,021 m per timme. Eftersom grundvattennivåer som ligger under nivån D_1 (Se fig. 16) ej kunde användas bortsågs från vattenytans stigning under de första 27 timmarna. Under de 9 timmar som följde efter det att D_1 passerades till

dess att dammen fylldes, var vattenytan fortfarande kontinuerligt stigande med värdet 0,021 meter per timme. Detta förlopp behandlades enligt formeln för en successivt stigande vattenyta (ekv. 12) med $\Delta y = 0,021$ t. För de tre följande dygnen räknades de teoretiska kurvorna fram enligt formeln för en plötsligt höjd vattenyta (ekv. 8) varvid det antogs att vattenytan plötsligt hade höjts 36 timmar efter det att dämningen påbörjades. Vid den teoretiska behandlingen av vattenståndsregleringarna under tiden 22.6–24.6 antogs det också att vattenståndsförändringarna i kanalerna var plötsliga. Med hjälp av teorin framtogs dels ett antal teoretiska kurvor för genomsläpplighetsvärden varierande mellan 1 m/dygn till 1900 m/dygn (fig. 19 och 20), dels uppritades kurvor vilka utvisar hur grundvattenytan skulle påverkats med tiden om det på laboratoriet erhållna genomsläpplighetsvärdet 12 m/dygn varit det rådande i området.

De vattenmängder som försvunnit ur området genom läckage och evapotranspiration har inte kunnat bestämmas kvantitativt i undersökningen. Enligt en av Badr (1983) anvisad metod kan dock dessa vattenförluster inbegripas i beräkningarna.

2.4 Resultat av beräkningar på data från Mästermyr

2.4.1 Dämnings- och sänkningsdata från Mästermyr utvalda som underlag för en teoretisk behandling

I fig. 16 visas den grundvattenståndskurva som uppmättes i samband med dämningen den 28.5. Några relevanta mätningar mellan den 28.5 och 1.6 utfördes inte. Den streckade linjen på höjden D_1 över det ogenomsläppliga lagret markerar den antagna nivån för den horisontella grundvattenytan då dämningen påbörjades. En höjning av grundvattennivån kunde som framgår av figuren uppmätas ut till avståndet 100–120 m från kanalen. På större avstånd från kanalen var grundvattennivån till synes opåverkad av dämningen. Mätningar utförda mellan den 1.6 och 4.6 visade att grundvattenståndet var konstant under denna tidsperiod, d.v.s. förändringen på grundvattennivån genom höjningen av kanalens vattenstånd hade med säkerhet upphört den 1.6.

Fig. 17 visar skeendet den 22.6 till den 24.6 då regleringsdammen först sänktes 15 cm och sedan åter höjdes. Vid sänkningen påverkades grundvattennivån mer än 200 m ut från kanalen. Då kanalvattenståndet höjdes mellan 23.6–24.6 höjdes grundvattennivån ut till ca 100 m från kanal K_1 . En ny

mätning utförd den 26.6 visade att grundvattenytan fortfarande låg på samma nivå som den 24.6. Detta innebär att förändringen på grundvattennivån genom höjningen av kanalens vattenstånd hade upphört inom ett dygn.

Mätningarna visade således att grundvattenståndet influeras på ett större avstånd från kanalen vid en sänkning av kanalens vattenstånd jämfört med en höjning av detsamma. Detta beror i hög grad på den utströmning av vatten som sker från området genom de tidigare omnämnda "rännorna" i moräntan. Genom att sänka vattenytan i kanalen skapades ett nytt förhållande mellan utströmning och inströmning i systemet med grundvattenytorna på en lägre nivå.

2.4.2 Teoretisk analys enligt Edelman av uppmätta mätdata från Mästermyr

I figurerna 19-22 visas observerade och teoretiskt bestämda höjnings- och sänkingskurvor för linje A och B. I fig. 19 anger beteckningen "observerad kurva", den uppmätta grundvattenståndsförändringen (Δh) ett dygn efter det att vattennivån i kanalen sänkts 15 cm. Enligt fig. 19 stämmer "observerad" kurva väl överens med den teoretiskt beräknade kurvan med k-värdet 1900 m/dygn inom 0-100 m från kanal K_1 . På större avstånd än 100 m från kanalen visar däremot "observerad kurva" högre avsänkingsvärden än den teoretiskt beräknade.

I fig. 20 visar förändringen av grundvattenståndet efter en höjning av vattennivån i kanal K_1 . Vi ser här, att med k-värden under 1000 m/dygn uppnås ej den uppmätta grundvattenståndsförändringen under ett dygn. Kurvan med det teoretiskt bestämda k-värdet 1360 m/dygn följer väl den "observerade" ut till avståndet 110 m från kanalen. Utanför detta avstånd befinner sig den "observerade kurvan" under den teoretiskt framtagna. Detta i motsats till vid sänkning då den "observerade kurvan" hamnade över den teoretiskt bestämda. Avståndet där de teoretiska och "observerade kurvorna" börjar divergera (100-110 m från kanal K_1) är ungefär detsamma i båda fallen. Ur detta förhållande kan det antas att vattenströmningen på större avstånd än 110 m från kanal K_1 ej längre är rätlinjig (följer ej Dupuit-Forchheimers antaganden) utan böjer av och strömmar ut mot R_2 enligt fig. 13.

Figurerna 19 och 20 visar också att vid ett k-värde på 1 m/dygn (vilket är det lägsta värde som bör föreligga vid underbevattning) hade förändringar

i grundvattenståndet bara kunnat påvisas ett par meter från kanalen ett dygn efter höjning eller sänkning av vattenståndet i densamma.

Fig. 21 visar den "observerade kurvan" ett dygn efter en höjning av vattenståndet i kanalen. I figuren är k -värdet konstant 12 m/dygn erhållet genom laboratoriebestämning av jorden ifråga medan tiden varierar från 1 till 500 dygn. Med detta förhållandevis låga k -värde får kurvan över grundvattenståndsförändringen först efter 100 dygn ungefär samma utseende som den "observerade kurvan", vilken uppmätts i fält ett dygn efter sänkningen av vattenståndet i kanalen.

Ur de ovan redovisade resultaten dras slutsatsen att, på grund av de höga genomsläpplighetsvärdena, ett stationärt tillstånd uppnås inom tidsrymden 1-1.5 dygn efter det att vattennivån stabiliserats i kanalerna. Figur 22 anger den "observerade kurvan" 4 dygn efter dämningen den 28.5 i Salmunds-kanalen. Av denna figur framgår det att den "observerade kurvan" överensstämmer väl med den teoretiskt beräknade för en tidpunkt 33 timmar efter dämning. Kurvor bestämda för en längre tid efter dämning ligger däremot betydligt över den observerade. Härur dras slutsatsen, att det tillstånd som iaktogs efter 4 dygn i verkligheten inträdde betydligt tidigare.

3. DISKUSSION ÖVER DÄMNINGENS FUNKTION OCH NYTTA SAMT NÅGRA SYNPUNKTER PÅ MÖJLIGHETERNA ATT FÖRBÄTTRA DÄMNINGSEFFEKTEN

I denna undersökning avseende förändringar i grundvattennivån då vattenståndet reglerades i kanalerna inom ett område på Mästermyr, har det konstaterats att grundvattennivån påverkas längre ut än 200 m från en kanal. De uppmätta nivåförändringarna i grundvattenståndet på detta avstånd, vilka visar sig vid sänkningen av vattenståndet i kanalerna, är en kombination av regleringarna, evapotranspiration, vertikal och horisontell utströmning av vatten ur området. Att grundvattenståndet i huvudsak styrdes av regleringarna i kanalen intill ca 100 m från denna kunde med säkerhet påvisas, då vattennivån höjdes i kanalerna. Förändringarna i grundvattennivån 200 m ut från kanalen kunde uppmätas inom ett dygn efter det att kanalens vattenstånd sänkts. Vidare visade det sig att grundvattenytan aldrig var plan utan den uppvisade en tydlig bågform.

Det är en rad faktorer som samverkar till den komplicerade grundvattenbilden. Bland dessa kan nämnas: Evapotranspirationen, växlande permeabilitet i jorden, inhomogent jordmaterial, m.m. På Mästermyr är det en ojämn bottenmorän och en grund akvifär som är den viktigaste anledningen till att inflödet av vatten från kanalerna till marken inte förmår kompensera utflödet ur området. De rännor ut ur "moräntråget" som konstaterats på Mästermyr, torde fungera som dräneringskanaler med ansevärd kapacitet. Det område norr om kanal K_1 där inga sådana "rännor" kunnat påvisas är mer slutet än det söder om denna kanal. Detta visade sig genom att grundvattnet i det norra området sjönk undan jämförelsevis långsammare under torrperioder och att grundvattenytan snabbt höjdes då det regnade, vilket inte var fallet söder om kanal K_1 .

Under den tidsperiod som grundvatten kunde påvisas på Mästermyr befann sig detta mellan 0,6 och 1,2 meter under markytan. Den optimala grundvattennivån för god tillväxt varierar för olika grödor. Den är också beroende av årsmånen, främst nederbörds mängden. Hallgren m.fl. (1965) fann genom undersökning under en följd av år på Bara myr att vallen gav högst skörd då grundvattenytan stod 0,15–0,45 m från markytan under torra år. Under år med normal nederbörd gav vallen mest då grundvattnet befann sig 0,45–0,75 m under markytan och under nederbördsrika år gav den mest då grundvattnet befann sig på djupet 0,75–1,05 m. Holländska undersökningar ger vid handen att på jordar med fin textur bör grundvattnet under vall inte stå närmare markytan än 0,6–0,9 m och för spannmålsgrödor inte närmare än 1,2–1,5 m, i annat än under kortare perioder (van Hoorn 1958, Minderhoud 1960, Hoogerkamp & Woldring 1965). Således kan det antas att de grundvattennivåer som genom reglering hålls på Mästermyr har gynnsam inverkan på grödans tillväxt. Grundvattenuppdämningen på dessa jordar har också betydelse för att minska vinderosionen. Genom att bleken hålls fuktig blåser den inte bort vilket kan inträffa i torrt tillstånd.

På grund av de modifieringar av uppmätta data till idealiserade förhållanden som måste göras vid tillämpningen av Edelmans metod, bör de erhållna genomsläpplighetsvärdena ses som riktvärden i storleksordningen 1000–2000 m/dygn. Samma storleksordning på k -värdet erhöles då mätresultaten behandlades enligt en av Skaggs anvisad metod (Skaggs, 1976). Som synes är k -värdena mycket höga och motsvarar enligt Andersson (1953) de som skulle erhållas i grus med partikelstorleken 0,5–0,7 cm. Denna höga permeabilitet torde bero på

det system av stora sprickor som förekommer på dessa jordar. Det finns emellertid indikationer vilka pekar på att genomsläppligheten är betydligt lägre i närheten av och i kanalslänterna jämfört med ute i marken. Undersökningar för att klarlägga detta pågår.

På vissa gotländska myrar har underbevattningen rapporterats fungera mindre bra. Detta anses bero på en för låg genomsläpplighet i marken med hänsyn till de dikesavstånd som tillämpas. Det har diskuterats om det vore lämpligt att i en sådan situation avstå från dämningen en enstaka sommar för att låta ett permanent spricksystem utvecklas genom upptorkningen. På Mästermyr har grundvattenståndet sedan förrättningen 1965 alltid varit "reglerat" under vegetationsperioden. Trots detta finns ett mycket välutvecklat spricksystem i marken. Detta beror sannolikt på att grundvattenytan ligger så lågt under sommaren att markprofilen får tillfälle att torka upp och ett stabilt spricksystem kan utvecklas. För myrar där grundvattennivån under hela sommaren är hög, kan det på sikt vara bättre att avstå från att dämna en sommar för att utveckla spricksystemet. Denna åtgärd bör dock vidtagas först när det konstaterats att underbevattningens funktion inte är begränsad av någon annan faktor än en för låg genomsläpplighet.

På Mästermyr erhöles ett märkbart högre genomsläpplighetsvärde då vattenytan i kanalen sänktes jämfört med när den höjdes. Att "avsänkningen" går snabbare än "dämningen" är en praktisk erfarenhet. En förklaring till detta förhållande kan vara att när vattenytan sänks är "vägarna klara" där vattnet rinner fram. När vattenytan höjs tvingas däremot vattnet söka sig fram i torrlagda sprickor och omättad mark fylls innan vattnet rinner vidare. Vid mätningarna i fält märktes vid flera tillfällen att vattnet inte strömmade fram i någon jämn lugn rörelse. Efter det att regleringarna i kanalen företagits kunde grundvattenståndet i en mätpunkt vara opåverkat i många timmar, för att sedan plötsligt stiga flera centimeter. En mera trolig förklaring till att så stor skillnad på genomsläpplighetsvärdena erhöles vid sänkning jämfört med vid höjning kan vara att vid det förra förloppet samverkade läckaget ur området med den utströmning som rädde mot kanalen. Vid sänkning av vattenståndet i kanalen påverkas vattenmagasinet i de omgivande fälten av följande faktorer: vattenmagasinet efter sänkning = vattenmagasinet i området före sänkning - vattenvolymen som strömmar ut i diket - vertikalt

läckage och läckage mot andra markområden - evapotranspirationen. Det är således en rad faktorer som minskar vattenmagasinet. Vid en höjning av vattenståndet i kanalen föreligger följande situation:

Vattenmagasinet efter höjning = vattenmagasinet i området innan höjning + vattenvolym som strömmar in i marken från diket - vertikalt läckage och läckage mot andra markområden - evapotranspirationen. D.v.s. vattenförlusterna visar sig i Edelmans formler som ett högre K -värde.

En fråga som också kan ställas men inte tidigare tagits upp i detta arbete är: Hur stora vattenmängder rör sig in och ut ur fälten då en reglering av vattenståndet görs i kanalerna. En viss belysning av denna fråga erhålles med följande exempel: Hur mycket vatten strömmar teoretiskt ut ur kanal K_1 per dygn om vattennivån vid dammen sänks 20 cm. Medelvärdena vid sänkning i linje A och B blir 1730 m/dygn. Kanal K_1 är 820 m lång, $\Delta y = 0,20$ m, $D = 0,50$ m och $\mu = 0,18$. Genom insättning av dessa värden i ekvation 19 på sid 19 erhålls $q_0 = 5 \text{ m}^3$ per dygn och meter. Det strömmar alltså 4100 m^3 /dygn eller 171 m^3 /timme ur kanal K_1 om dammluckan sänks 20 cm. Höjs vattennivån på nytt till utgångsläget skulle, med medelvärdet $k = 1190$ m/dygn bara 948 m^3 vatten/dygn strömma in i marken. Detta kan bl.a. ge en förklaring till varför ingen återhämtning skedde vid höjningen av vattenståndet mellan den 23.6 och 24.6 (se fig. 17). Tydligt inställde sig ett nytt jämviktsläge mellan inströmning av vatten i marken från kanal K_1 och utströmning ur området. Det är således tydligt att vattenståndsförändringarna inom området långtifrån enbart påverkas av regleringarna i kanalerna. Förändringarna i grundvattennivån avspeglar sig framförallt i balansen mellan tillflöde från kanalen och de vattenförluster som erhålls genom vertikal och horisontell vattenavgång. Nämnas bör också att giltigheten inom Mästermyr av ovanstående exempel kunde ha prövats genom direktmätning av vattenföringen vid överfallet vid sänkningen.

En praktisk konsekvens av att det är lättare att sänka än att höja grundvattennivån blir att dämningen bör ske så tidigt som möjligt under vegetationsperioden. Detta förutsatt att jordarna är så genomsläppliga som på Mästermyr. Det är möjligt att snabbt få ned grundvattenståndet i fälten om det blir för mycket nederbörd medan det kan vara svårare att få grundvattnet att stiga om regleringen fördröjs och det blir en torrsommar därefter. Ytterligare en praktisk slutsats är att i de fält som studerats på Mästermyr torde ingen

systemtäckdikning för att effektivisera underbevattningen vara försvarlig. Det är inte genomsläppligheten som är begränsande för underbevattningen, utan i stället de stora ojämnheter i moränbotten och därmed ett begränsat och tunt marklager. Emellertid vore det av värde att rensa upp och fördjupa diken K_3 och K_4 (se fig. 3), för att få en effektivare reglering av grundvattennivåerna.

4. PLANERING AV UTVIDGADE UNDERSÖKNINGAR

Här lämnas några synpunkter på hur undersökningar liknande de som refererats i detta arbete kan planeras och genomföras.

Om Edelmanns metod skall kunna användas bör försöket genomföras på ett så stort fält som möjligt. Undersökningen bör vidare förläggas högt uppströms regleringsanordningen, för att undgå störande inverkan från den lägre vattennivån nedströms en damm. Det får inte finnas diken som löper vinkelrät från den studerade kanalen inom fältet. Noggranna markundersökningar för att bl.a. klargöra profildjup och det ogenomsläppliga lagrets utseende och läge är av stor vikt. Underlagras fälten som på Mästermyr av en hård morän indikeras denna lättast genom sondering. Det är också möjligt att finna den nivå där sprickorna upphör i en djup lera eller gyttjelera. I Kvismardalen prövades att sänka ned ett fältlysimeterrör i marken då grundvattennivån stod nära markytan. Jordmaterialet innanför röret kan lämpligen tas upp med en avloppsskopa. Så länge botten av röret befinner sig inom det djup av marken där det finns sprickor strömmar det in vatten i röret. Då spricksystemet upphör, upphör också vattenströmmen till lysimeterröret och det ogenomsläppliga lagrets nivå kan uppmätas.

Vid utsättningen av grundvattenståndsrören placeras dessa i rätta linjer vilka går vinkelrätt mot den studerade kanalen. I närheten av kanalen bör mätpunkterna placeras tätare än längre ut från denna, beroende på att grundvattenytans variationer är störst närmast kanalen. För att kunna följa förändringarna i grundvattennivån i närheten av kanalen måste man där också göra tätare observationer.

En metod att bestämma genomsläppligheten, vilken kräver mindre fält men två parallellt löpande diken, kan troligen ge säkrare värden. Detta beroende på att randvillkoren i en sådan situation klart kan definieras. För att teoretiskt belysa vattnets strömning mellan två parallella diken kan också ett flertal ekvationer ställas upp, liknande de som angivits i denna rapport.

Som tidigare sagts får detta arbete i mycket ses som en orientering och metodutveckling. Det vore värdefullt att fastare belägga sambandet mellan genomsläpplighetsvärden bestämda med den metod, som redovisas i detta arbete och de k-värden som erhålls på laboratoriet eller genom borrhålsmetoden.

Det vore också av värde att genomföra en noggrann kartläggning av förhållandet gröda - grundvattenstånd som ledning för åtgärder i syfte att ge högre och säkrare skördar genom grundvattenståndsreglering. I en sådan undersökning borde tillfogas, förutom de data om marken och grundvattenståndet som redovisas i denna undersökning, uppgifter om kapillär stighöjd och rotdjup på dessa jordar. Dessutom skulle en jämförelse av skördarna mellan partier som varit opåverkade av grundvattenuppdämningen (områden utanför skuggade partier fig. 8, 9 och 13), partier där det är osäkert om det varit påverkan av dämningen (oskuggade partier ca 200-300 m från kanalen), samt partier vilka klart varit påverkade av dämningen (ut till 100 m från kanal K_1) vara mycket intressanta.

5. SAMMANFATTNING

Vid underbevattning söker man i mark och kanaler bevara det vatten som tillförs vid nederbördsöverskott för att grödan ska kunna använda det under bristperioder på för- och högsommaren. Denna studie behandlar hur grundvattenståndet i en blekejord inom ett myrområde Mästermyr, på Gotland påverkas av vattenståndsregleringar i en kanal. Observationer gjordes i 35 grundvattenståndsror inom ett 32 ha stort område under vegetationsperioden 1982. Erhållna mätdata belyser grundvattnets variation under vegetationsperioden. Den matematiska behandlingen av mätdata utförs efter Edelmans modell. Förutom att förutsäga grundvattenståndets förändringar vid reglering av vattenståndet i en kanal är det möjligt att med denna metod bestämma ett genomsnittligt värde på genomsläppligheten inom ett större markområde. Metoden förutsätter en akvifär med oändlig utsträckning, vilken genomskärs av en enstaka kanal. I denna akvifär antas jorden vara homogen och underlagrad av ett plant ogenomsläppligt lager. Det mer komplicerade fallet där vatten också tillförs systemet i form av nederbörd eller bortförs genom evapotranspiration och läckage kan inte behandlas efter denna metod. Då förhållandena på Mästermyr inte visade sig uppfylla de ideala förhållandena måste vissa förenklingar göras vid den teoretiska behandlingen. De framtagna resultaten bör därför

främst ses som riktvärden på grundvattenpåverkan och genomsläpplighetsvärden i en storsprickig jord.

Genom mätningarna konstaterades att grundvattennivån med säkerhet påverkades ut till ett avstånd på ca 100 m från den kanal i vilken vattenståndet reglerades. Den teoretiska analysen och vissa av uppmätta data pekar på att grundvattenståndet möjligen påverkades av regleringarna ytterligare längre ut, mer än 200 m från kanalen. Vidare kunde det konstateras att grundvattenströmningen p.g.a. höga genomsläpplighetsvärden i blekelagret uppnådde ett stationärt tillstånd inom ett till två dygn efter en reglering av kanalens vattenstånd. På Mästermyr var tillströmningen av vatten i huvudkanalen inte tillräckligt stor för att uppehålla en stabil grundvattenyta under vegetationsperioden, utan grundvattennivån sjönk under högsommaren.

Påverkan på grundvattenytan av den nederbörd som förekom under mätperioden 1982 kunde bara påvisas inom de delar av området som var relativt slutna, d.v.s. där moränbotten hindrade utströmning av vatten från fälten.

Undersökningen har inte direkt klarlagt i vad mån dämningssåtgärder på Mästermyr lyckats hålla vattennivån inom rotzonen. Jämförelser med tidigare arbeten över rotdjup och skördeavkastning i relation till grundvattennivån pekar på att regleringarna sannolikt medförde att vattnet hölls på en för grödorna gynnsam nivå ut till 100–120 m från kanalen. Inom området finns det också partier där moränen ligger så högt att grundvattenpåverkan överhuvudtaget inte kunnat påvisas.

Det välutvecklade spricksystemet i bleken på Mästermyr ger genomsläpplighetsvärden i storleksordningen 1000–2000 m/dygn. Det är mycket höga värden och gynnsamma för underbevattnings. Den goda funktion hos underbevattningen som av detta kan förväntas på Mästermyr motverkas emellertid av att jordlagret är förhållandevis tunt och moränbotten är ojämn. Moräntrösklar hindrar vidare delvis vattnets inströmning i marken från kanalerna. Det förekommer också djupa svackor i moränbotten genom vilka vatten rinner ut ur området. Undersökningen antydde också högre genomsläpplighetsvärden då vattenståndet i kanalerna sänktes, jämfört med då det höjdes. En praktisk konsekvens av detta blir att grundvattenytan på dessa genomsläppliga jordar bör höjas så tidigt som möjligt under vegetationsperioden.

Undersökningen har klarlagt att vattennivån kan kontrolleras inom begränsade delar av det undersökta området. Möjligheten att kontrollera grundvattnet inom myren i sin helhet som önskvärt vore, begränsas av de markförhållanden som råder på Mästermyr. Odlarna på Mästermyr är av uppfattningen att skördarna påverkas positivt av grundvattenuppdämningen. Hur stor skördeökningen blir vid den kontrollerade dräneringen på Mästermyr jämfört med okontrollerad sådan kan emellertid bara klargöras med fortsatta och utvidgade undersökningar.

6. FIGURER

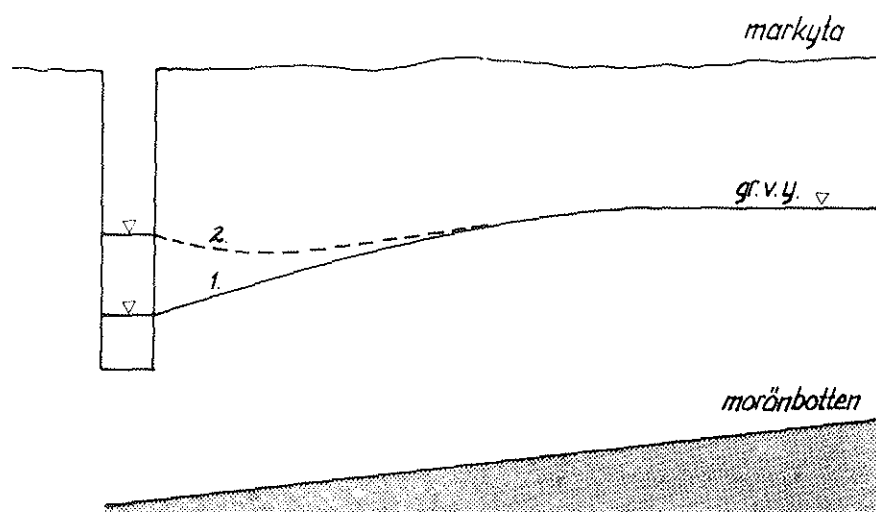


Fig. 1

Schematisk bild av grundvattenytan vid fri avrinning (1) och vid dämning (2).

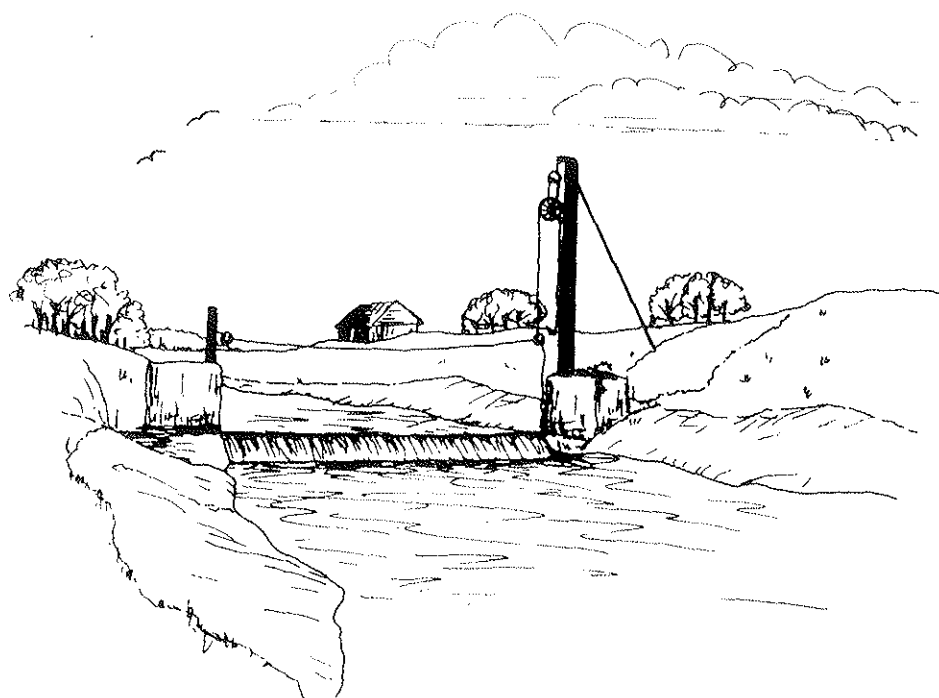


Fig. 2

Regleringsdammen i Salmundskanalen, Mästermyr.

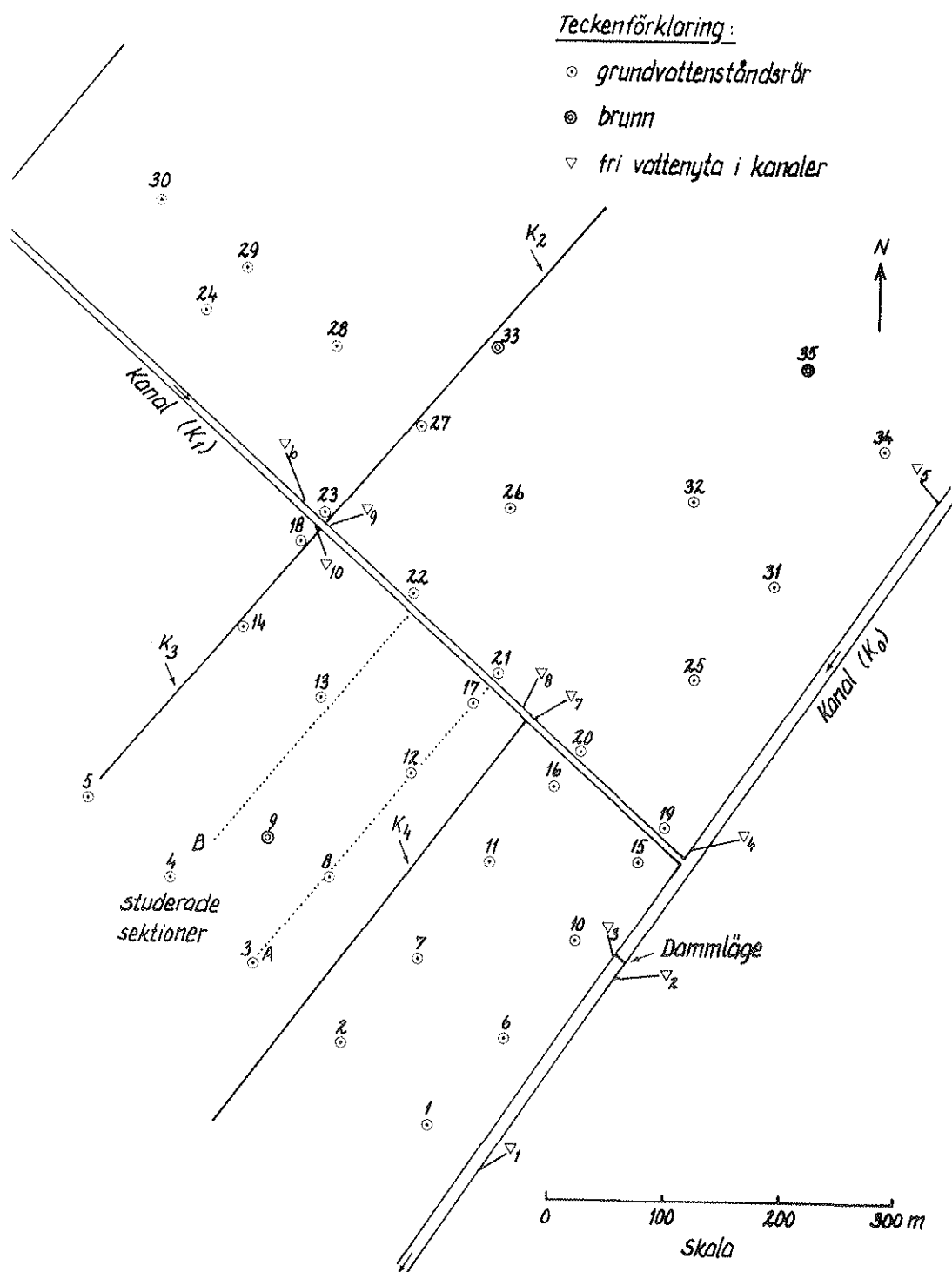


Fig. 3

I figuren anges mätpunkternas samt kanalernas beteckningar inom försöksområdet på Mästermyr. Här visas också linjerna A och B med de grundvattenstånds-rör från vilka mätresultaten analyserats matematiskt.

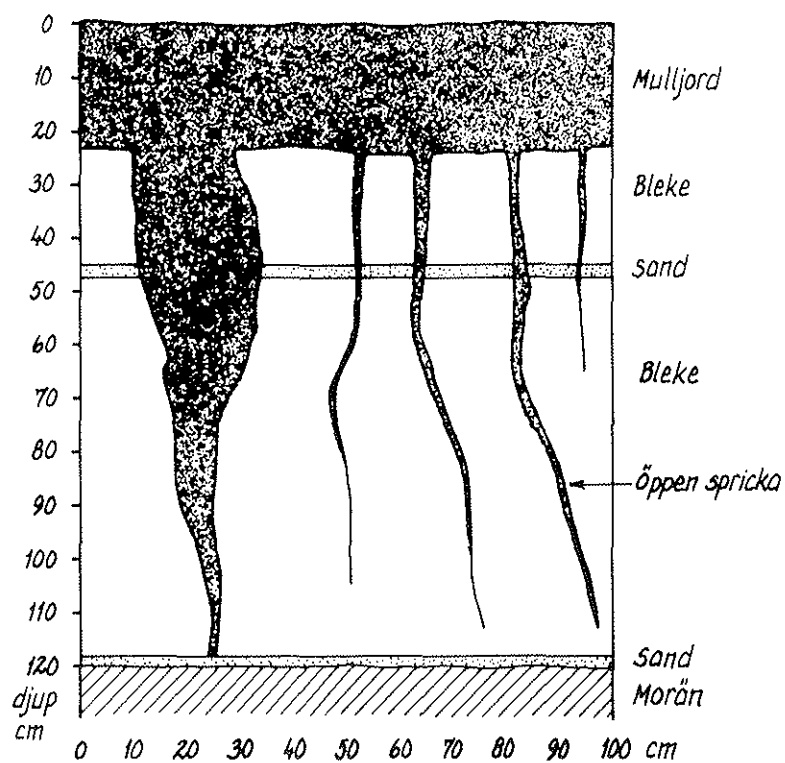


Fig. 4

Vertikalsnittet (överst) visar spricksystemet för profilen vid punkt 21 på Mästermyr. De mörka sprickorna är fyllda med matjord. Figurerna underst är från Bara myr på Gotland. De visar horisontalsnitt för nivåerna 35, 45, 65 och 85 centimeter från markytan med ett successivt avtagande spricksystem. Efter Hallgren m.fl. (1965).

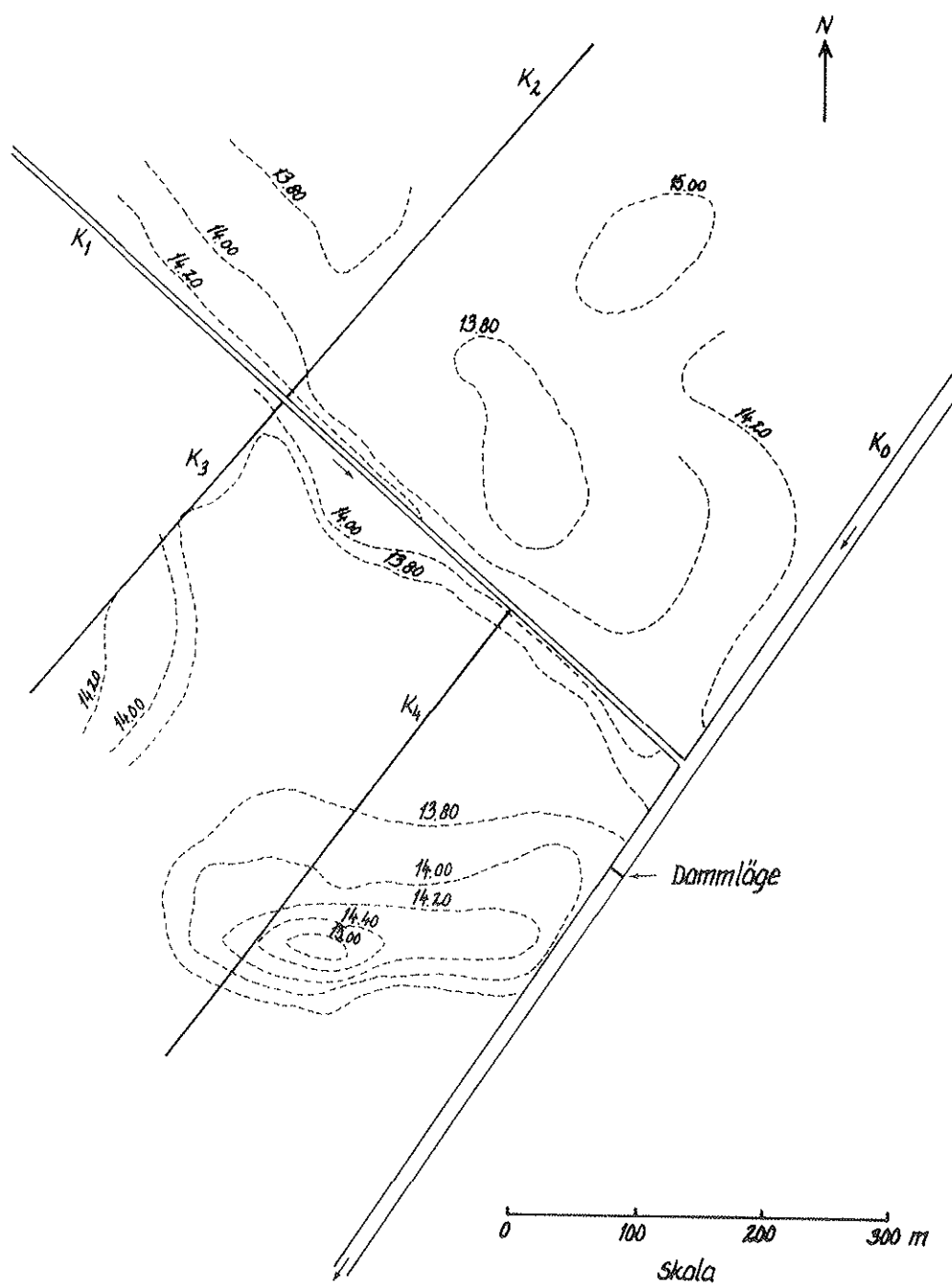


Fig. 5

Markytan samt kanalsystemet inom försöksområdet på Mästermyr. Höjdkurvor enligt RH00.

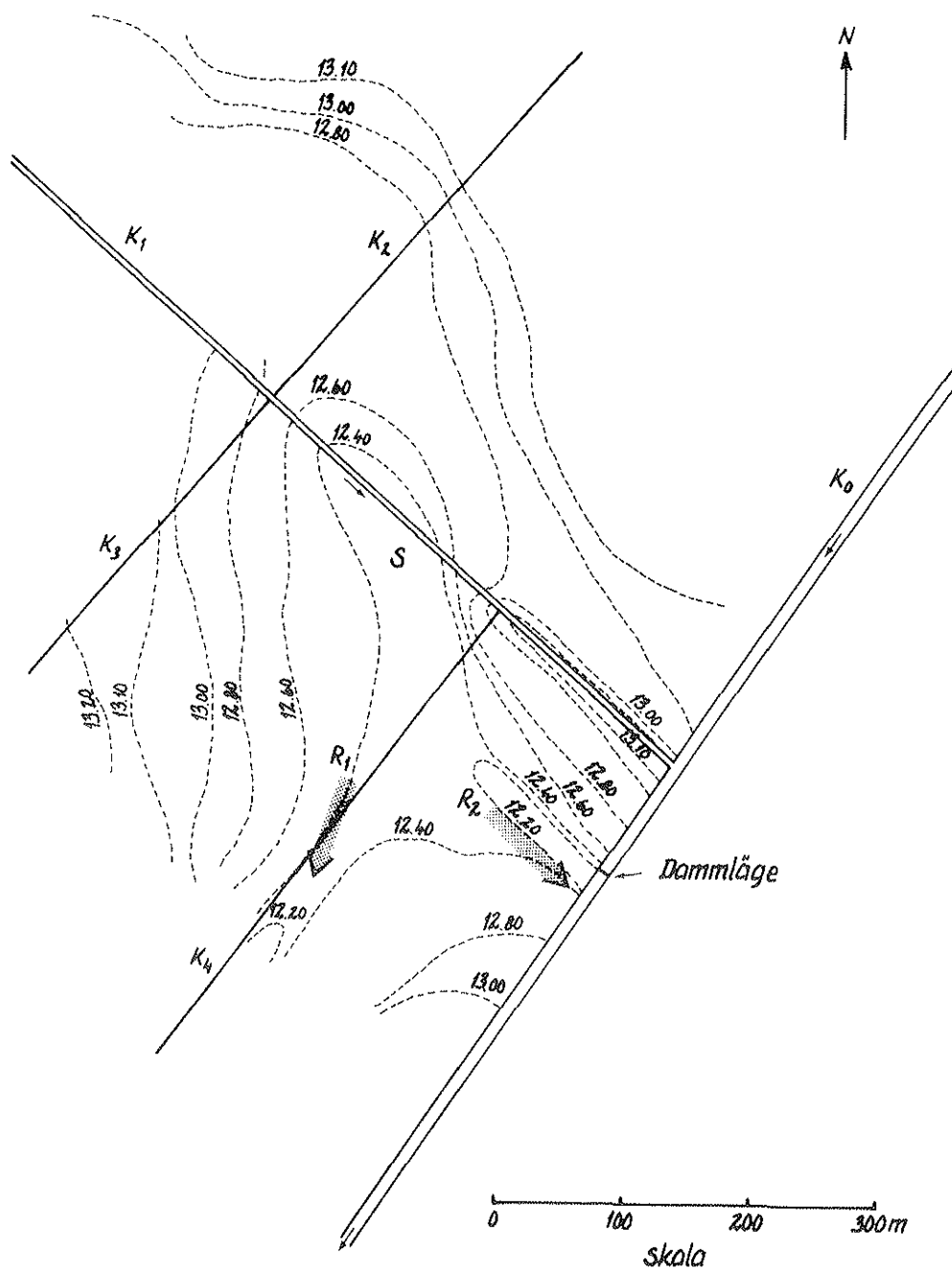


Fig. 6

Moränytan inom försöksområdet på Mästermyr. R_1 och R_2 betecknar de rännor i moränytan genom vilka vattnet huvudsakligen antas läcka ut ur systemet då vattenståndet regleras. S betecknar en större sänka. Höjdkurvor enligt RH00.

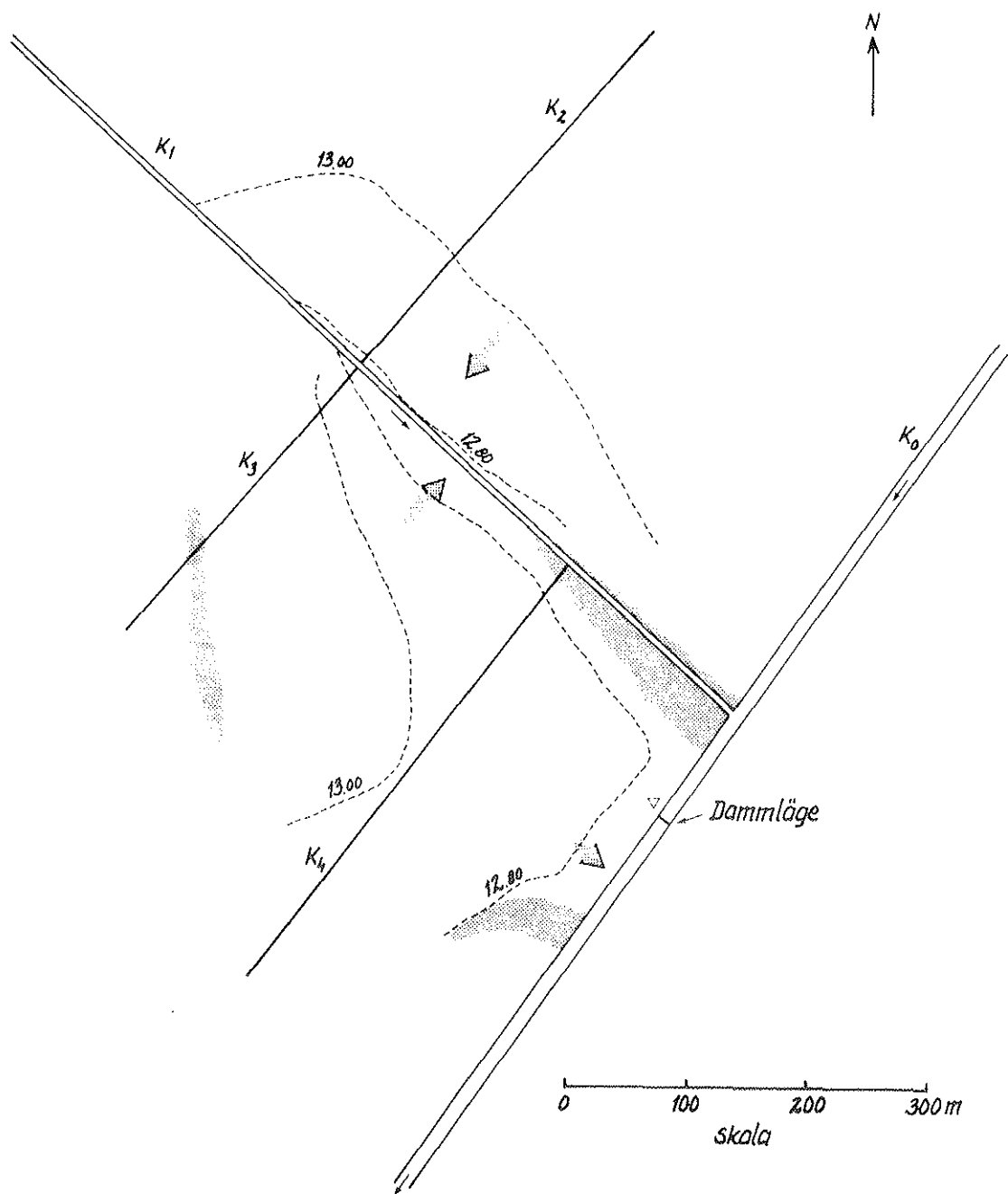


Fig. 7

Figuren anger grundvattenståndet inom försöksområdet på Mästermyr den 27.5. Den visar situationen innan vattenståndet i kanalerna började regleras. Skuggade partier anger en gräns utanför vilken grundvatten ej kunnat påvisas vid den aktuella tidpunkten. Vattenståndet vid dammläget var 12,13 m öh. De skuggade pilarna anger huvudsakliga strömningsriktningar.

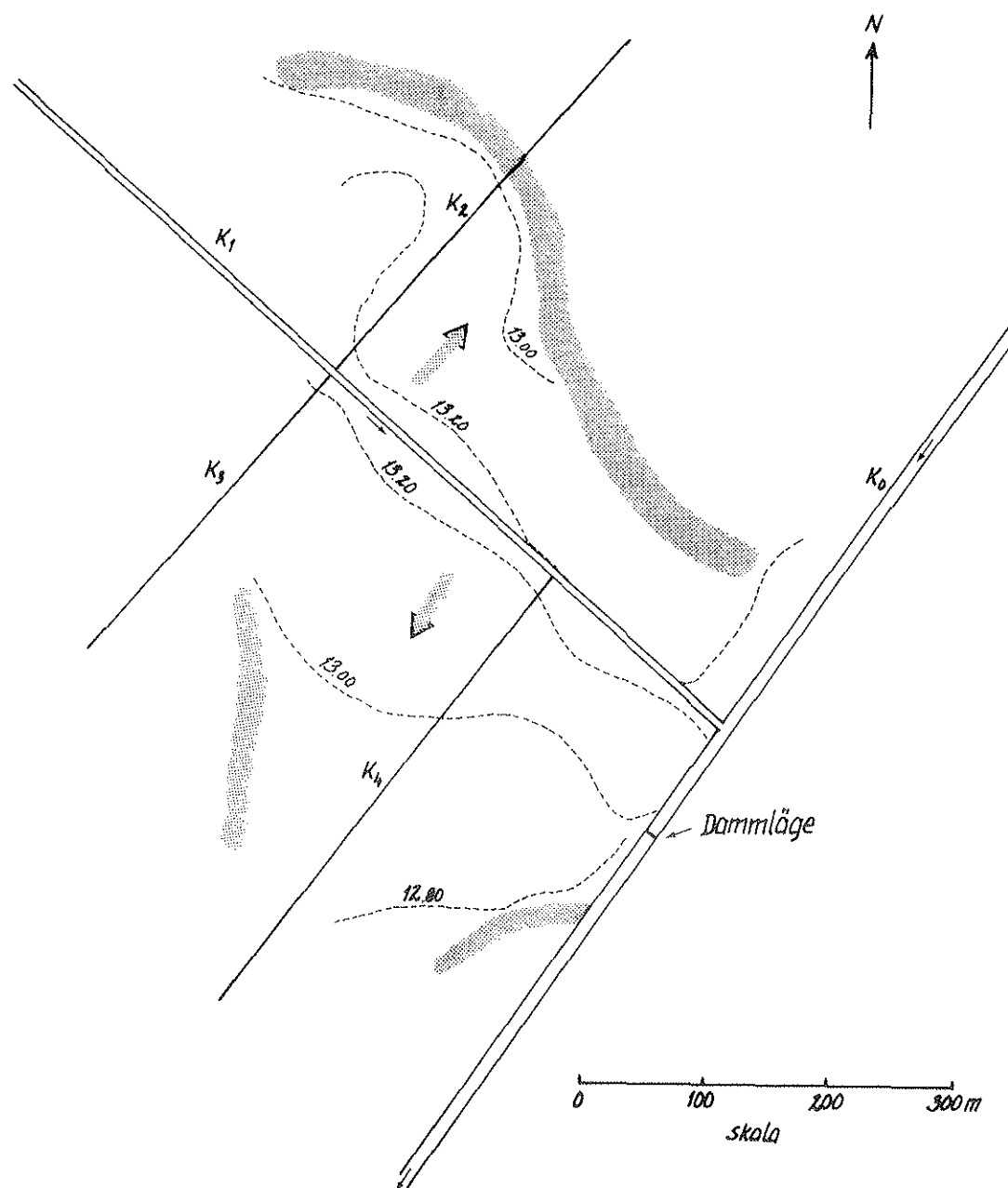


Fig. 8

Figuren anger grundvattenståndet inom försöksområdet på Mästermyr den 1.6. Den visar situationen efter det att vattenståndet i kanalerna börjat regleras. Skuggade partier anger en gräns utanför vilken grundvatten ej kunnat påvisas i jordlagret den 1.6. Vattenståndet vid dammläget var 13,20 m öh. De skuggade pilarna anger huvudsakliga strömningsriktningar.

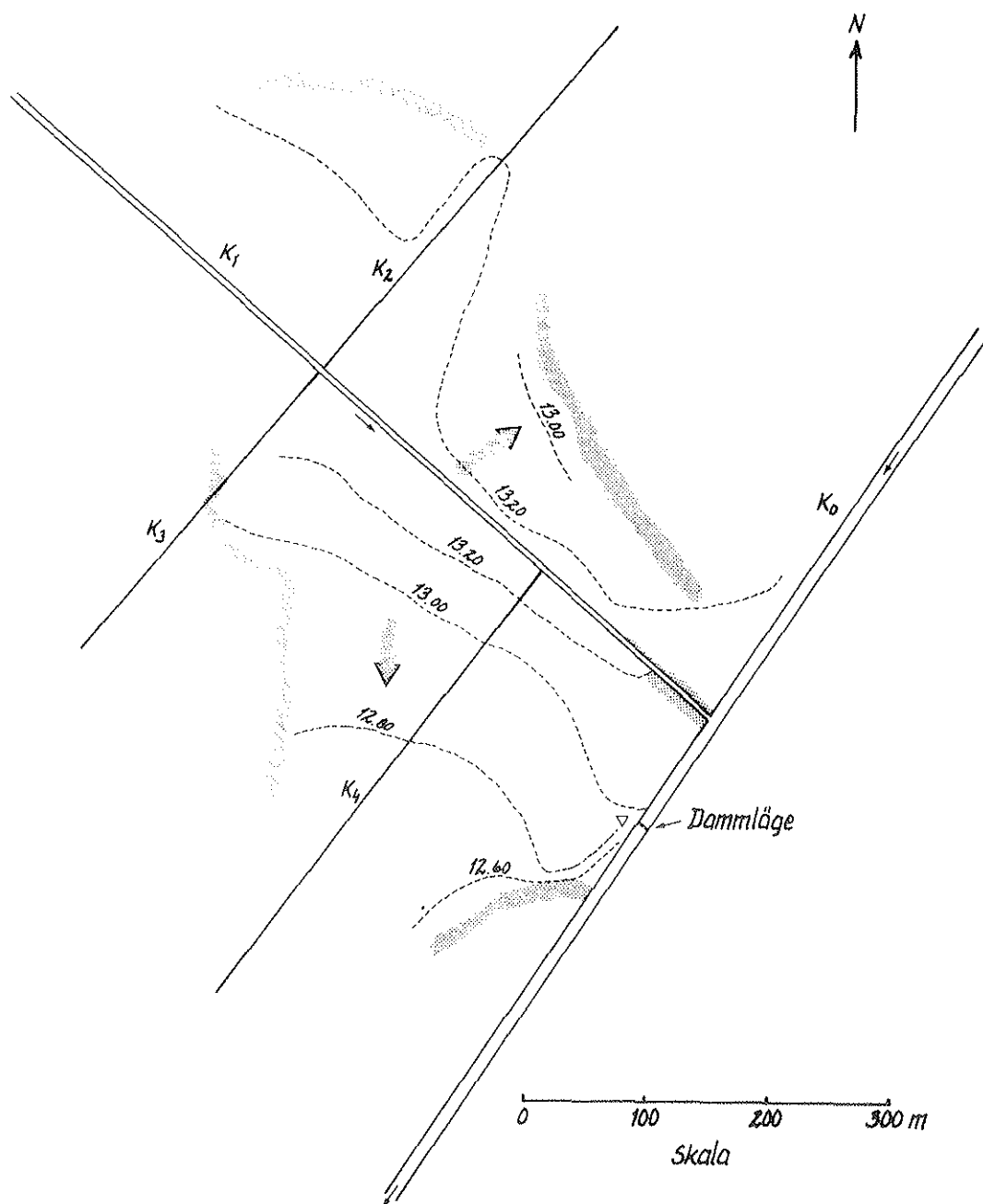


Fig. 9.

Figuren visar grundvattenståndet inom försöksområdet på Mästermyr den 22.6, 35 dygn efter det att regleringarna påbörjats. De skuggade partierna anger en gräns utanför vilken grundvatten ej kunnat påvisas i jordlagret vid den aktuella tidpunkten. Vattenståndet vid dammläget var 13,28 m öh.

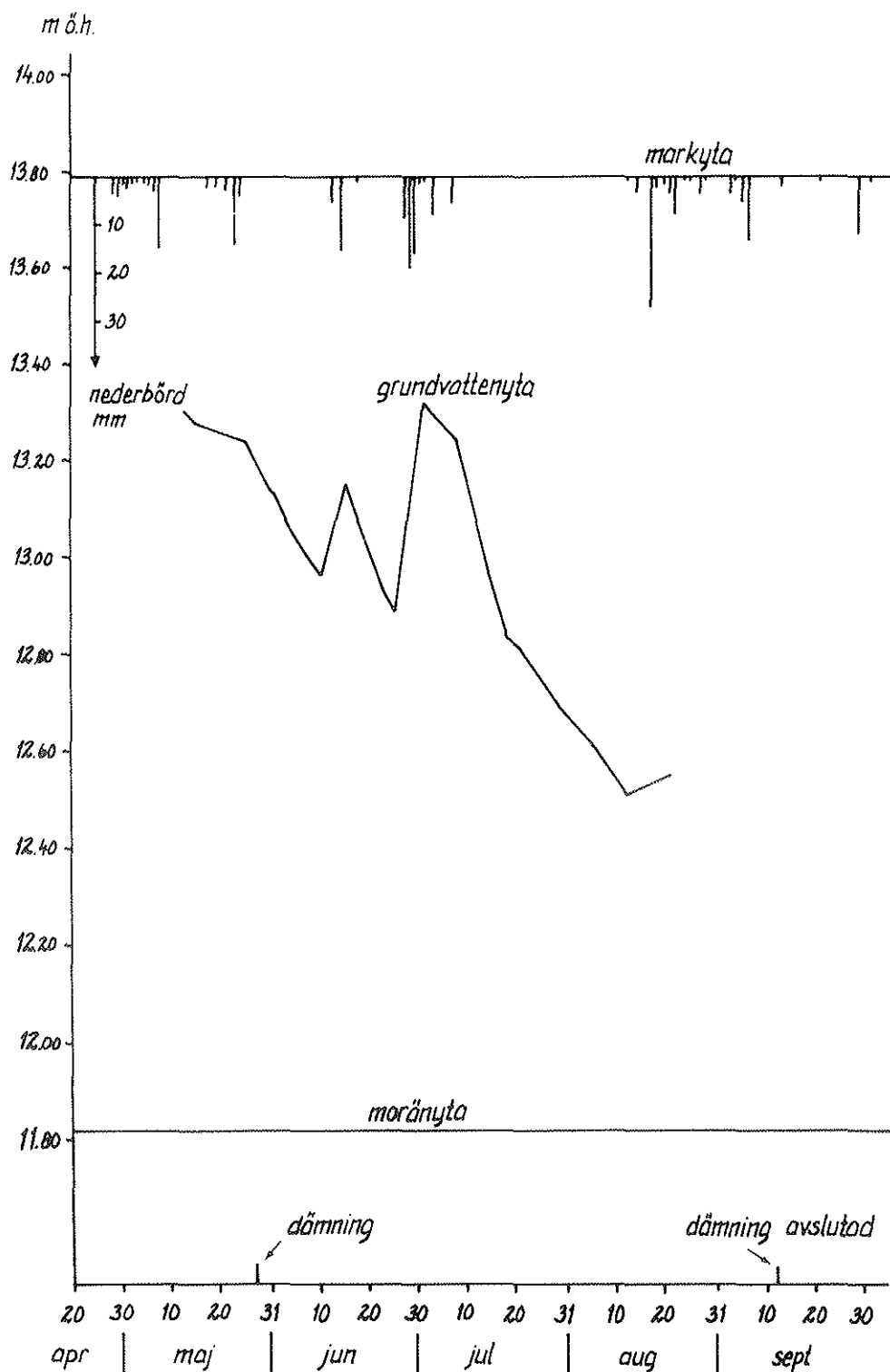


Fig. 10

Nederbördens inverkan på grundvattenståndet inom området norr om kanal 1 på Mästermyr. Figuren visar grundvattnets variationer i grundvattenståndsrör 30 under vegetationsperioden 1982. Staplarna under markytelinjen anger nederbörden i mm.

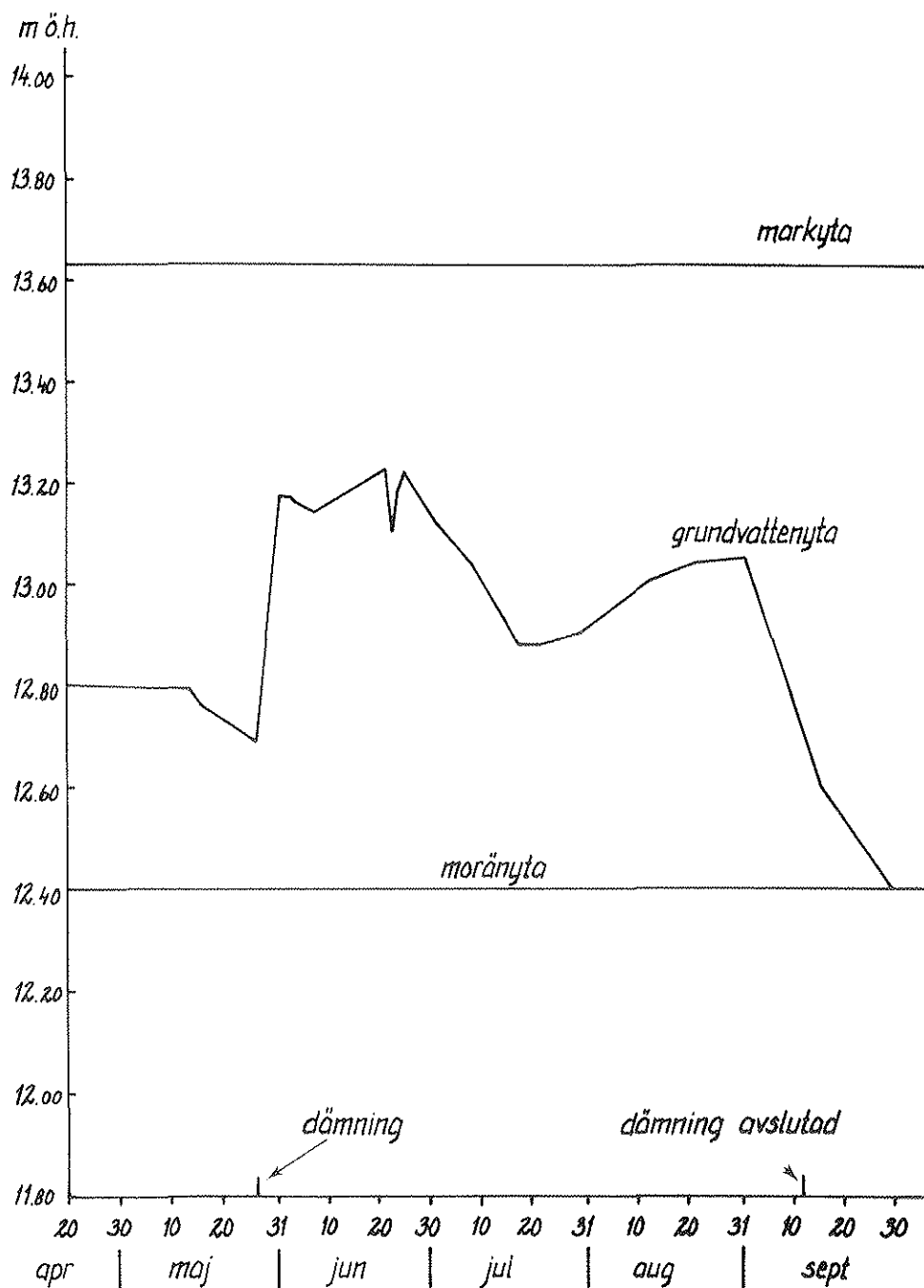


Fig. 11.

Grundvattnets fluktuationer under vegetationsperioden 1982 i närheten av kanal 1 på Mästermyr. Mätningarna har gjorts i grundvattenståndsrör nr 17, 20 m söder om kanal 1.

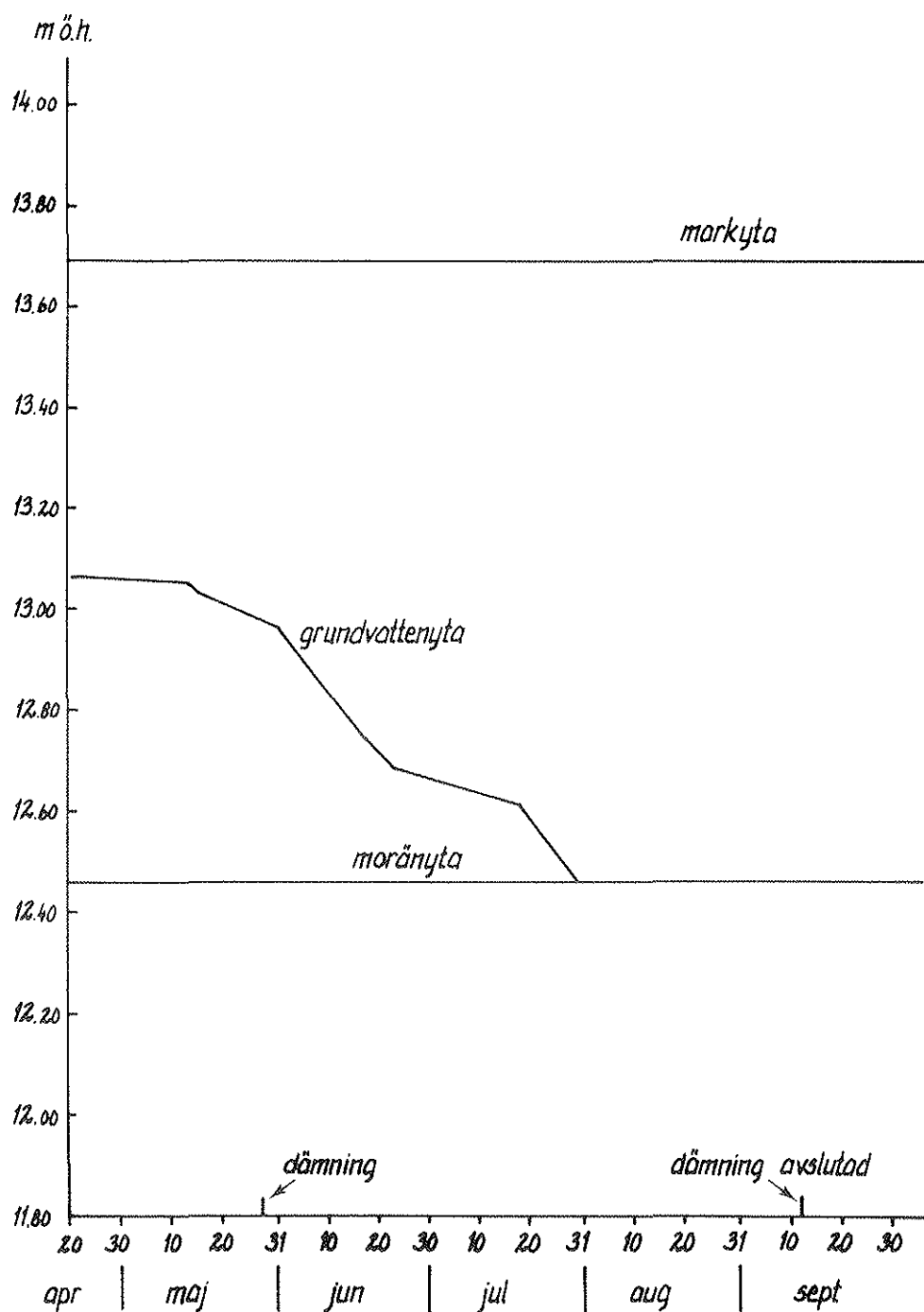


Fig. 12

Grundvattnets fluktuationer under vegetationsperioden 1982 på stort avstånd från kanal 1 på Mästermyr. Mätningarna har gjorts i grundvattenståndsrör nr 7, 210 m söder om kanal 1.

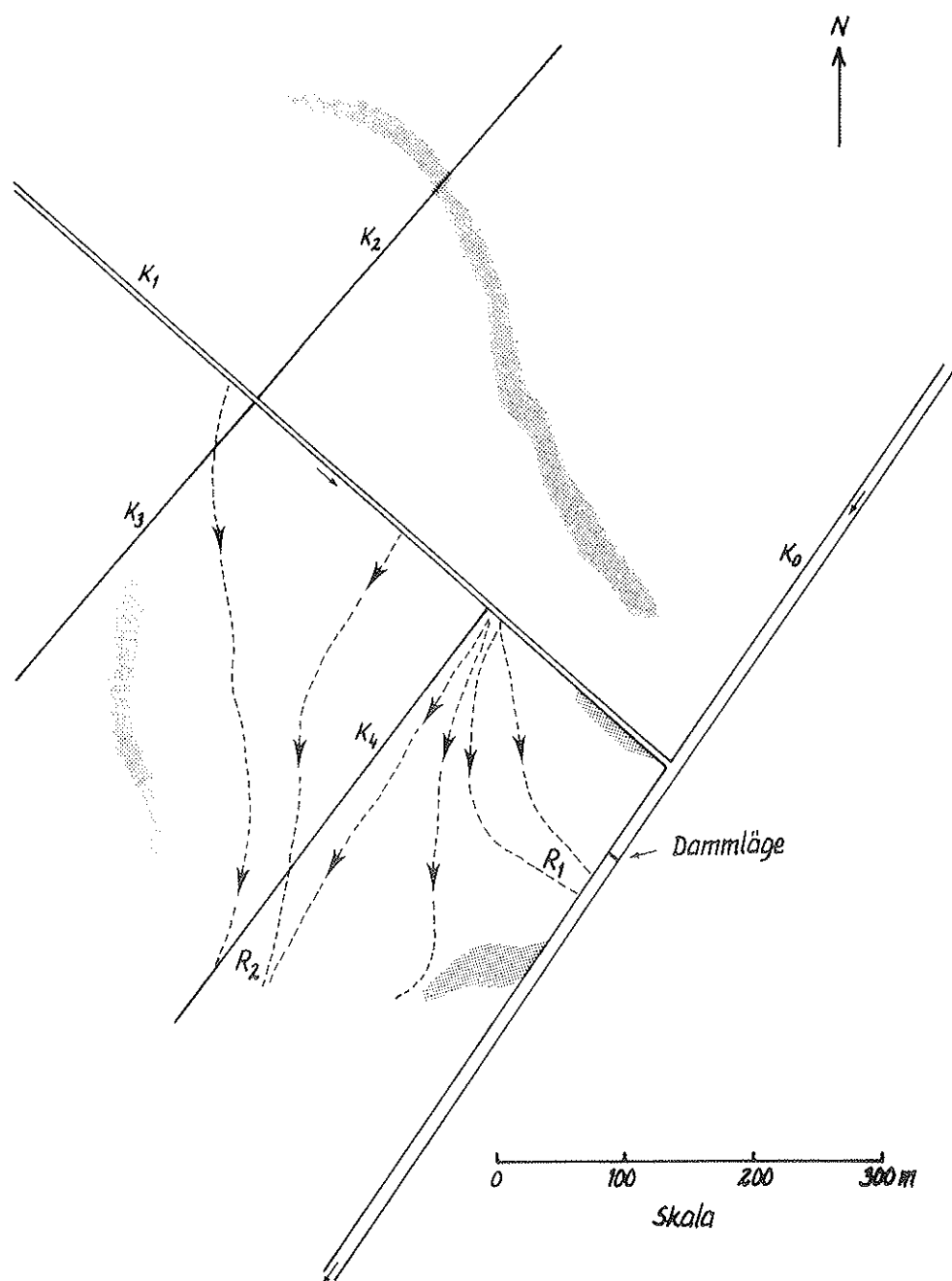


Fig. 13

Strömningsbilden inom den södra delen av försöksområdet då dämning sker. Vattnet strömmar ut från området genom rännor i moränen vid R_1 och R_2 .

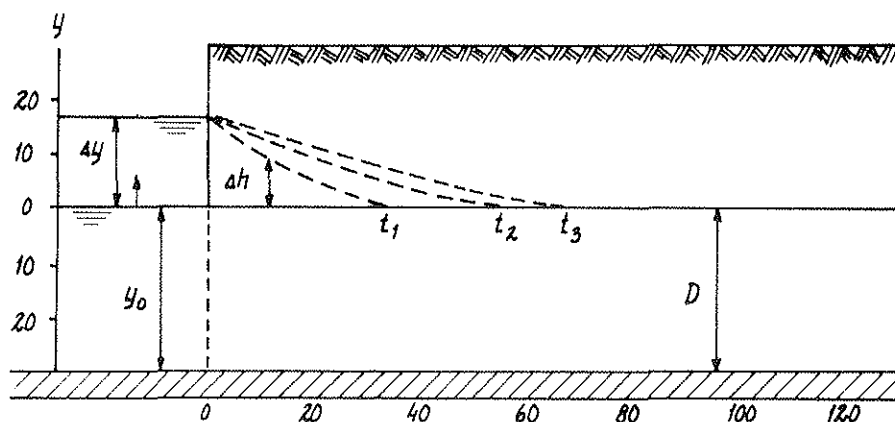


Fig. 14

Den fria grundvattenytans höjning från ett jämviktstillstånd i en oändlig akvifär, efter det att vattenståndet i en kanal plötsligt höjts. Streckade linjer visar grundvattenytans läge vid olika tidpunkter.

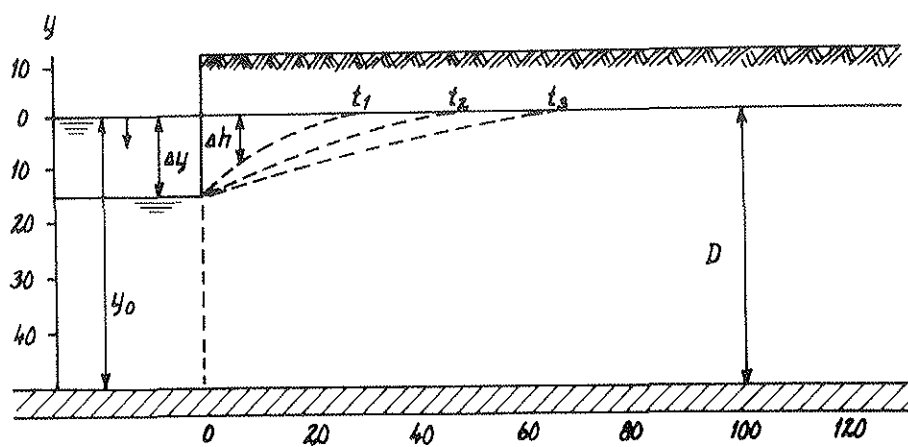


Fig. 15

Den fria grundvattenytans sänkning från ett jämviktstillstånd i en oändlig akvifär efter det att vattenståndet i en kanal plötsligt sänkts. Streckade linjer visar grundvattenytans läge vid olika tidpunkter.

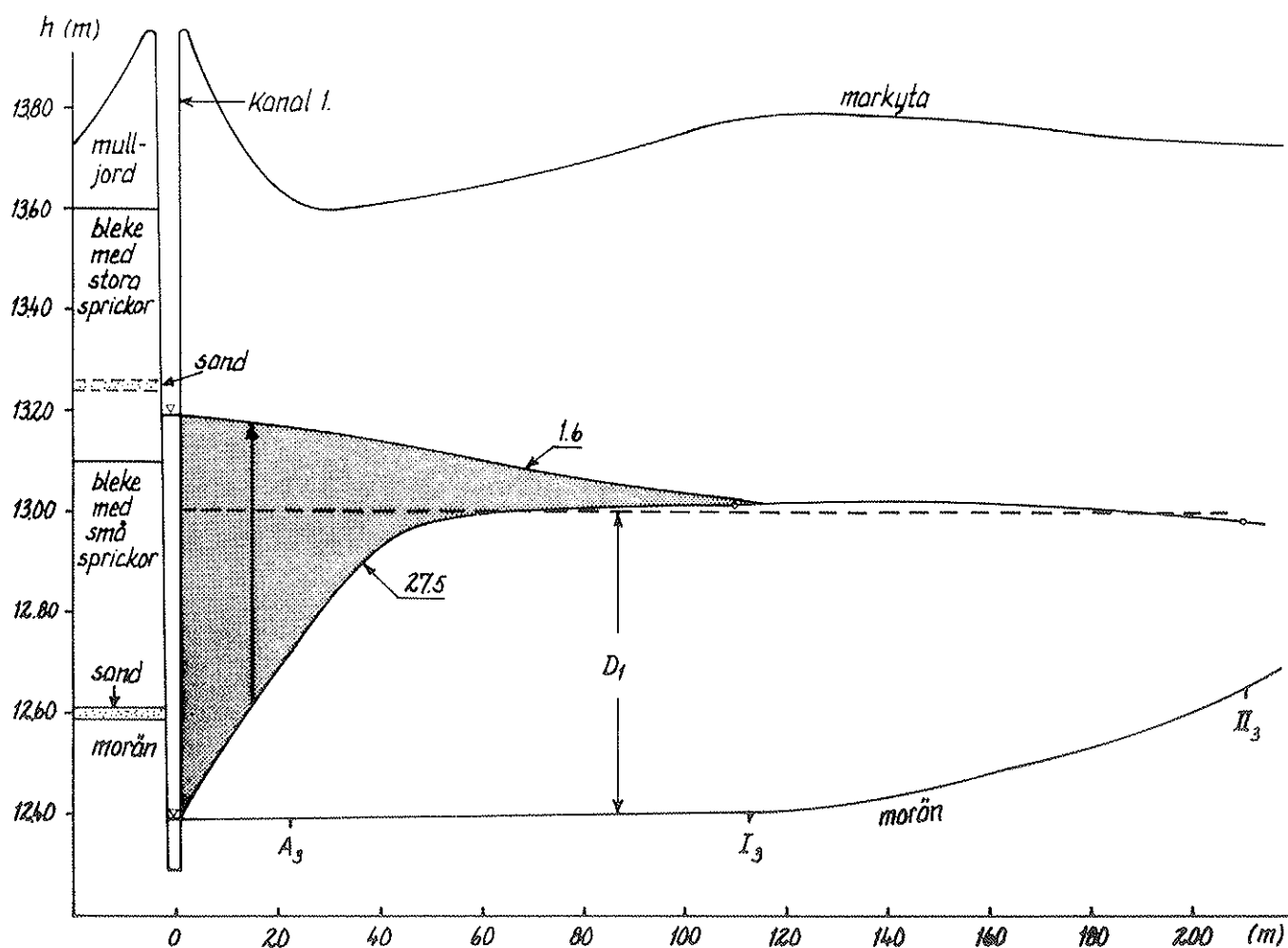


Fig. 16

Det observerade grundvattenståndet den 27.5 ett dygn före dämningen i Salmundskanalen den 28.5. Kurvan den 1.6 visar grundvattnets läge 4 dygn efter dämningens påbörjan. Till vänster i diagrammet är en för profillinjen A typisk markprofil inlagd.

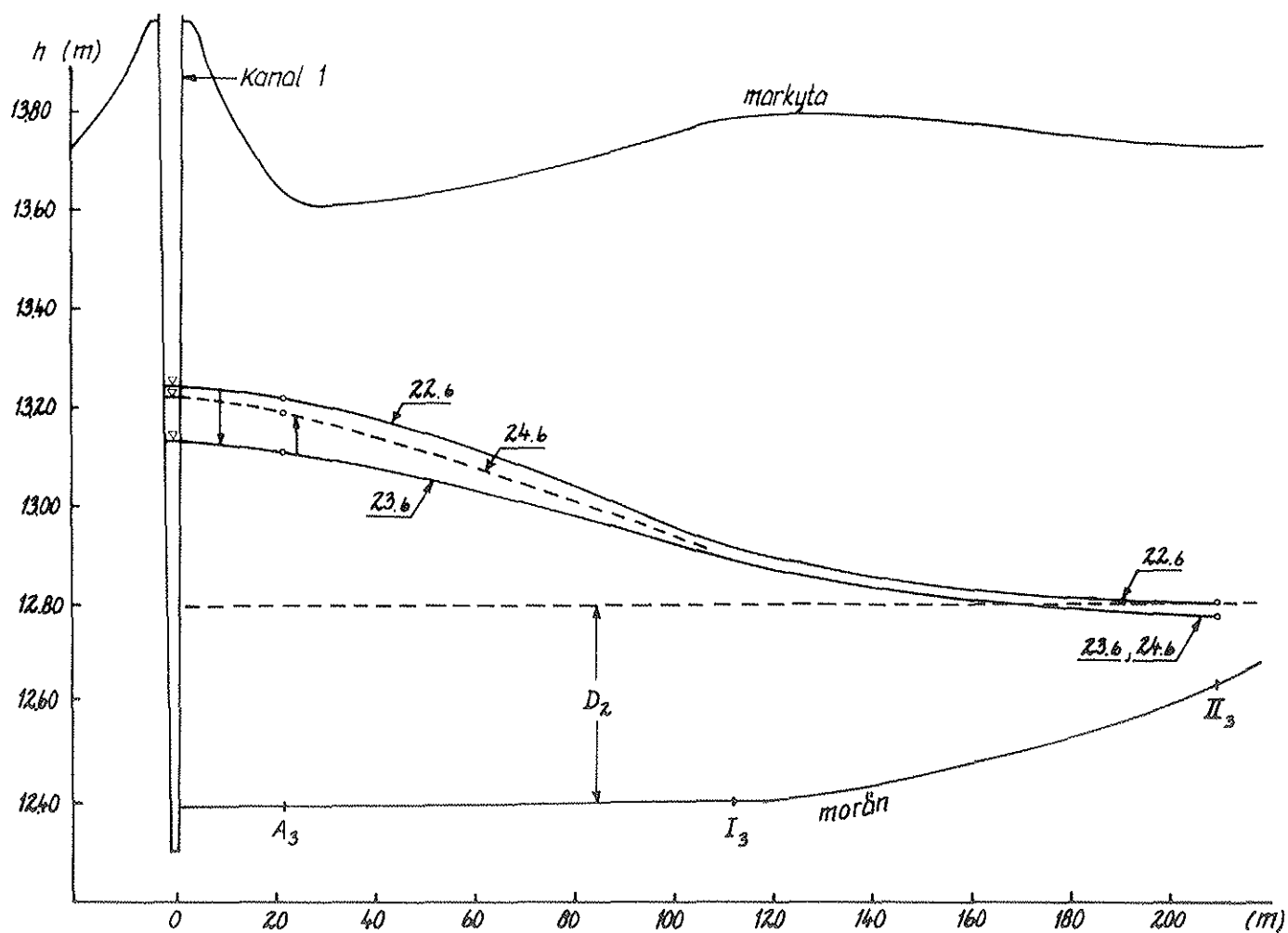


Fig. 17

Observerade grundvattenståndskurvor vid regleringarna av vattenståndet 22.6-24.6 i Salmundskanalen, Mästermyr. Bilden visar sektionen genom linje A. Mellan den 22.6 och 23.6 sänktes vattenståndet medan det höjdes mellan den 23.6 och 24.6.

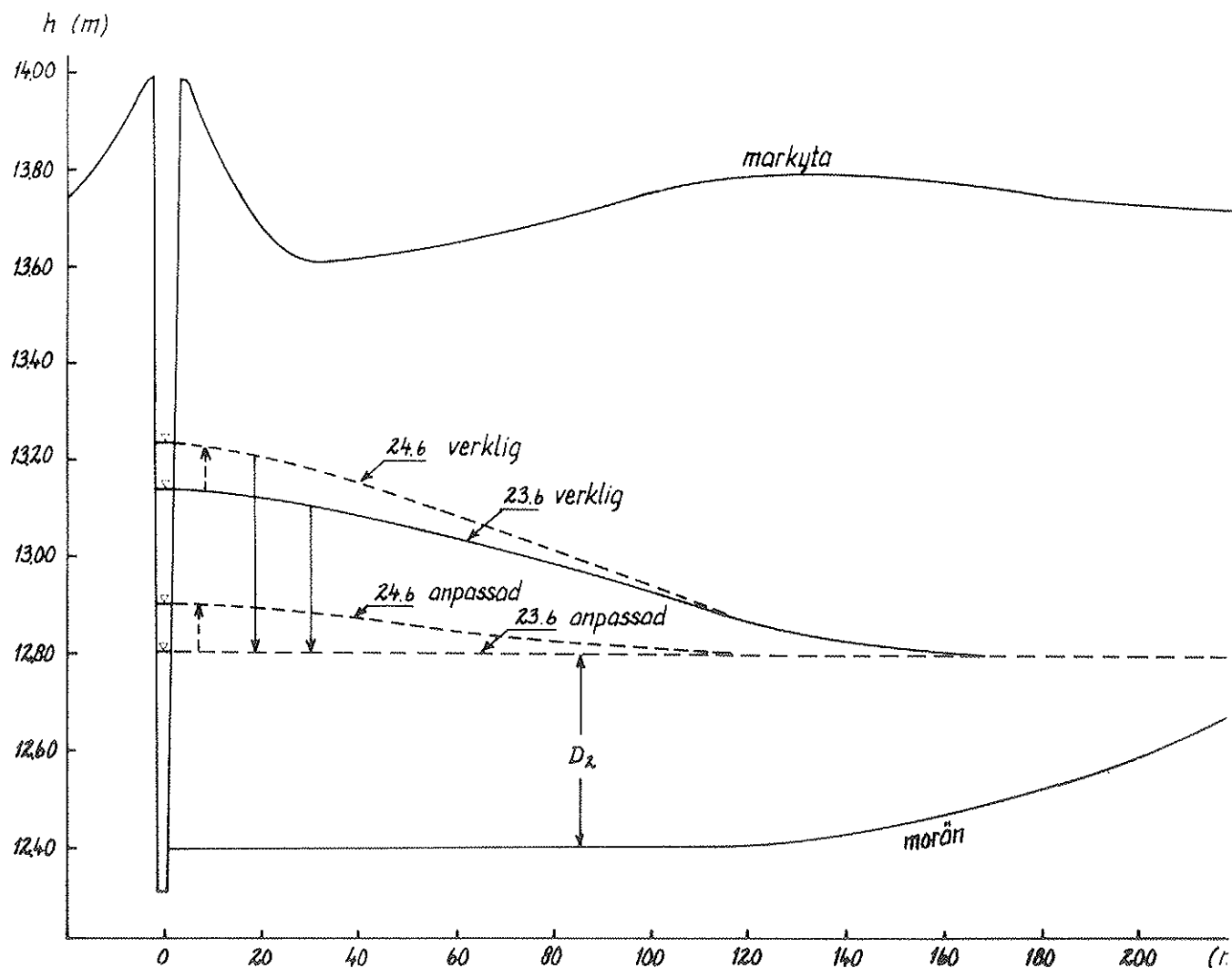


Fig. 18

Figuren visar den anpassning av grundvattenståndskurvorna som utförts för att Edelmanns lösningsmetod skulle kunna användas för att belysa sambandet mellan vattenståndet i kanalen och i marken. De observerade kurvorna 23.6 och 24.6 har sänkts ned till nivån 12,80 respektive 12,91. Kurvan för den 23.6 bildar efter anpassningen en horisontell linje.

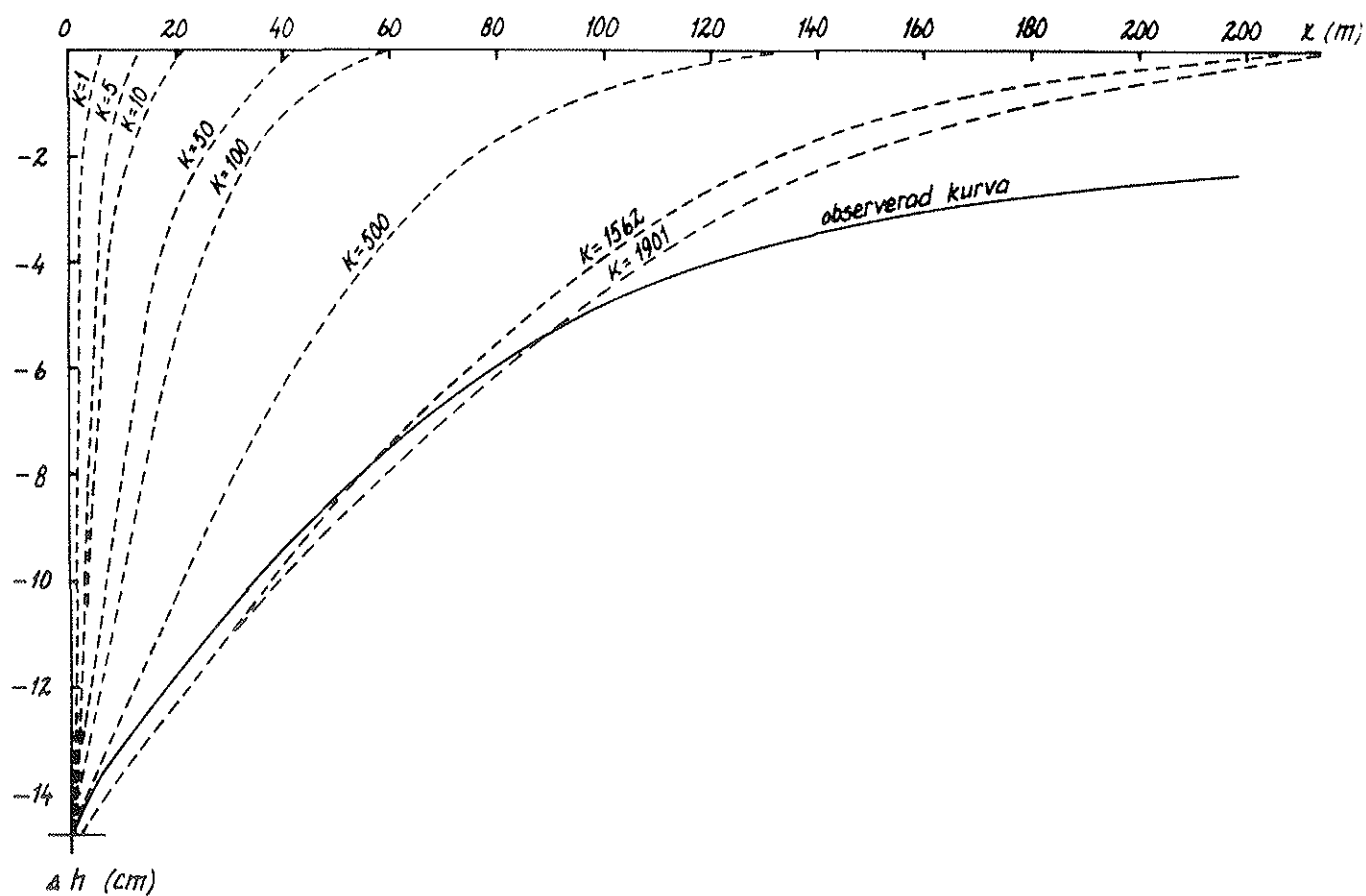


Fig. 19

Den heldragna kurvan visar det observerade grundvattenståndet i linje B ett dygn efter det att vattenståndet i kanalen sänkts med 15 centimeter.

Övriga kurvor (streckade) är teoretiskt beräknade kurvor för grundvattnets förändring ett dygn efter en sänkning av kanalvattenståndet med 15 cm.

I de beräknade kurvorna har k -värdet antagits variera från 1 meter/dygn till 1901 meter/dygn.

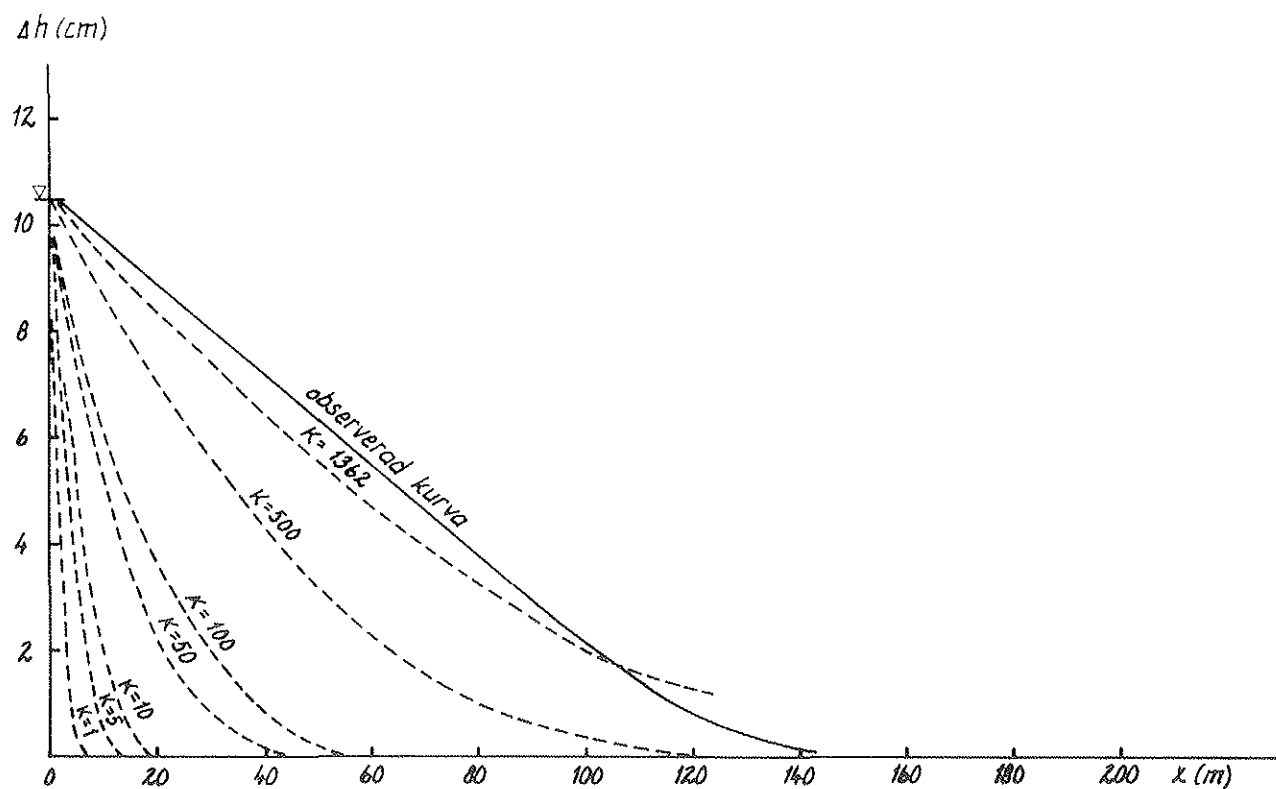


Fig. 20

Den heldragna kurvan visar där observerade grundvattenståndet i linje A ett dygn efter det att vattenståndet i kanalen höjts med 11 cm.

Övriga kurvor (streckade) är teoretiskt beräknade kurvor för grundvattenståndet ett dygn efter en höjning av kanalvattenståndet med 11 centimeter.

I de beräknade kurvorna har k -värdet antagits variera från 1 meter/dygn till 1362 meter/dygn.

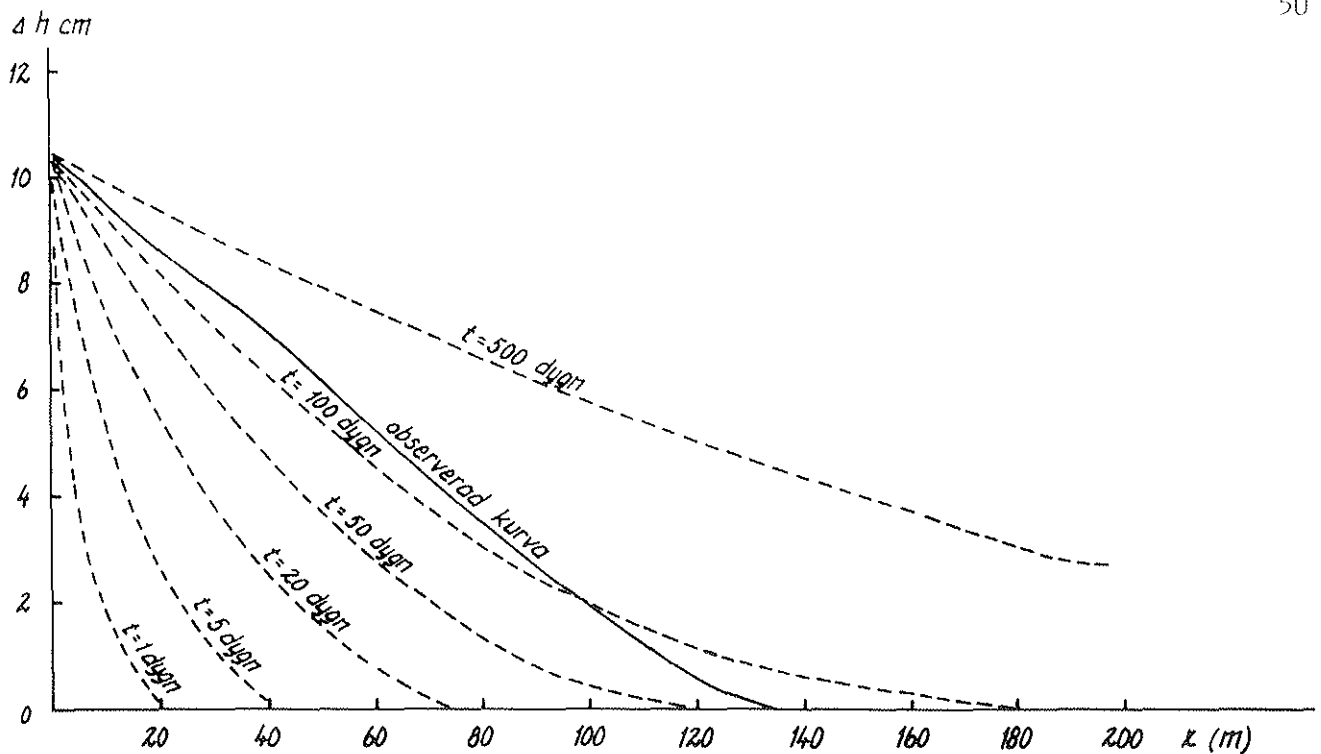


Fig. 21

Den heldragna kurvan visar grundvattenståndet i linje A ett dygn efter det att vattenståndet i kanalen höjts med 11 centimeter.

De streckade kurvorna är teoretiskt beräknade kurvor för grundvattnets förändring. Respektive kurva visar förändringen vid en viss tidpunkt efter det att kanalvattenståndet, Δy höjts 11 cm, k -värdet är konstant 12 m/dygn i samtliga kurvor.

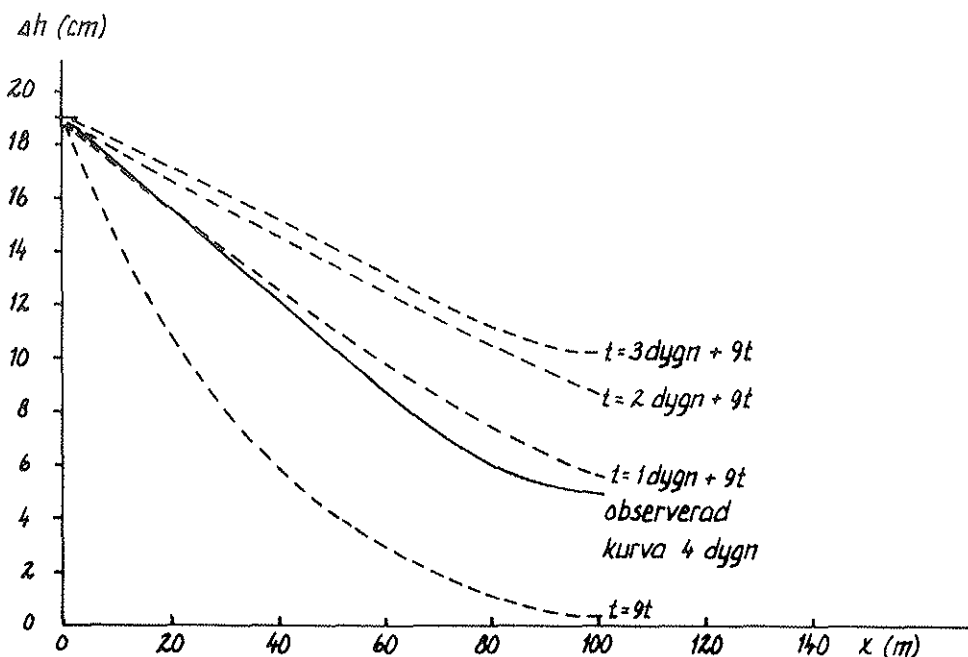


Fig. 22

Det observerade grundvattenståndet (heldragen kurva), 4 dygn efter dämningen den 28.5 i Salmundskanalen. I bilden finns också de teoretiska kurvorna för förändringen av grundvattenståndet (streckade kurvor). Kurvorna är beräknade med k -värdet 1362 m/dygn vid tidpunkterna 9 timmar, 1 dygn + 9 timmar, 2 dygn + 9 timmar samt 3 dygn + 9 timmar efter dämning.

7. FÖRTECKNING ÖVER VARIABLERNA I EDELMANS LÖSNINGSMETOD

- D = akvifärens djup (avståndet mellan grundvattenytan och det ogenomsläppliga lagret) vid jämviktsläge mellan vattenståndet i kanalen och grundvattennivån i fälten
 $f_0(u)$ = Jahnke-Emdes "kompletterande felfunktion"
 $f_1(u)$ = $f_0(u)$ s förstaderivata
 $f_2(u)$ = $f_0(u)$ s andraderivata
 h = avståndet mellan grundvattenytan och det ogenomsläppliga lagret
 Δh = förändringen av grundvattennivån efter det att en reglering i kanalen företagits
 k = markens genomsläpplighetsförmåga
 q_0 = vattenflödet vid kanalslätten
 q_x = vattenflödet på avståndet x från kanalen
 W = förändring av vattenhalten i jorden
 t = tid sedan vattennivån i kanalen förändrades
 T = en hjälpfaktor i Edelmanns lösningsmetod
 u = en hjälpfaktor i Edelmanns lösningsmetod
 x = det vinkelräta horisontella avståndet från kanalen till den punkt där grundvattenytans höjd söks
 y_0 = avståndet mellan vattenytan i kanalen och det ogenomsläppliga lagret innan reglering
 Δy = förändringen i kanalens vattenstånd
 α = vattenytans stig- eller sjunkhastighet vid en gradvis förändring av vattenytans nivå
 μ = markens effektiva porositet

8. LITTERATURFÖRTECKNING

- Andersson, S. 1953. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord, II & IV. Om markens permeabilitet. Grundförbättring 6:1, s. 28-45, 6:3, s. 160-176.
- Badr, A.W., Skaggs, R.W., Doty, C.W. & Parsons, J.E. 1982. Water storage in a PL-566 watershed as affected by stream water level control. American Society of Agricultural Engineers. ASAE Paper No. 82-2510. ASAE, St. Joseph, Michigan 49085, USA.
- Berglund, K. 1982. Beskrivning av fem myrjordsprofiler från Gotland. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för Lantbrukets hydroteknik. Rapport 125.
- Boussinesq, J. 1903. Sur le débit en temps de sécheresse d'une source alimentée par une nappe d'eaux d'infiltration. C.R. Acad. Sci. Paris. 126, s. 1511-1517.
- Dieleman, P.J. & Ridder, N.A. 1972. Drainage principles and applications, vol. I Elementary groundwater hydraulics. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. Publication 16:1, s. 153-199.
- Dupuit, J.A. 1863. Etudes Théoriques et Pratiques sur le Mouvement des Eaux dans les Canaux Découverts et á Travers les Terrains Perméables. 2:a uppl. Paris: Dunod.
- Edelman, J.H. 1947. Over de beretning van grondwaterstromingen. Diss. Delft: Technical University. (Stencil).
- Ekström, G. & Flodkvist, H. 1926. Hydrologiska undersökningar av åkerjord inom Örebro län. Sveriges Geologiska Undersökning. Stockholm. Serie C. N:o 334.
- Forchheimer, O. 1914. Hydraulik. 1:a uppl. Leipzig och Berlin: B.G. Teubner.
- Hallgren, G., Nääs, O. & Wiklert, P. 1965. Undersökningar rörande grundvattenuppdämning i blekejord på Gotland åren 1941-1961. Grundförbättring. 18:4, s. 179-240.
- Hoogerkamp, M. & Woldring, J.J. 1965. Ontwatering van rivierklei. Proefstation Akker- en Weidebouw, Wageningen. Mededeling No.116.
- Hoorn, J.W. van 1958. Results of a groundwater level experimental field with arable crops on clay soils. Neth. J. of Agric. Sci. 6, s. 1-10.
- Magnusson, N.H., Lundkvist, G. & Regnéll, G. 1963. Sveriges geologi. 4:e uppl. Stockholm: Svenska Bokförlaget/Nordstedts.

- Minderhoud, J.W. 1960. Growth of grass and Ground water level. Diss. Wageningen: Agricultural University.
- Skaggs, R.W. 1975. Drawdown solutions for simultaneous drainage and ET. American Society of Civil Engineers, Irrigation and Drainage Division. Journal, vol.101.
- Skaggs, R.W. 1976. Determination of the hydraulic conductivity - Drainable porosity ratio from water table measurements. American Society of Agricultural Engineers. Transactions of the ASAE, 19:1.
- Wesseling, J. 1972. Drainage principles and applications, vol.II Theories of field drainage and watershed runoff. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. Publication 16:II, s.189-222.

9. APPENDIX

Bil. 1Värden för $f_0(u)$, $f_1(u)$ och $f_2(u)$

u	$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-u^2}$	$f_0(u)$	$f_1(u)$	$f_2(u)$
0.000	0.5642	-1.0000	1.1284	-1.000
0.025	0.5638	-0.9717	1.0794	-0.9448
0.050	0.5628	-0.9436	1.0312	-0.8920
0.075	0.5610	-0.9155	0.9849	-0.8416
0.100	0.5586	-0.8875	0.9397	-0.7935
0.125	0.5554	-0.8596	0.8960	-0.7476
0.150	0.5516	-0.8320	0.8537	-0.7039
0.200	0.5421	-0.7773	0.7732	-0.6227
0.250	0.530	-0.7237	0.6982	-0.5497
0.300	0.5157	-0.6714	0.6285	-0.4829
0.350	0.4991	-0.6206	0.5639	-0.4232
0.400	0.4808	-0.5716	0.5042	-0.3699
0.450	0.4608	-0.5245	0.4495	-0.3222
0.500	0.4394	-0.4795	0.3993	-0.2799
0.550	0.4169	-0.4367	0.3534	-0.2423
0.600	0.3936	-0.3961	0.3119	-0.2090
0.650	0.3698	-0.3580	0.2741	-0.1798
0.700	0.3456	-0.3222	0.2402	-0.1540
0.750	0.3215	-0.2888	0.2097	-0.1315
0.800	0.2975	-0.2579	0.1824	-0.1120
0.850	0.2739	-0.2293	0.1581	-0.0949
0.900	0.2510	-0.2031	0.1364	-0.0803
0.950	0.2288	-0.1791	0.1173	-0.0677
1.000	0.2076	-0.1573	0.1005	-0.0568
1.050	0.1873	-0.1376	0.0857	-0.0476
1.100	0.1682	-0.1198	0.0729	-0.0396

(forts)

Bil. 1 (forts)Värden för $f_0(u)$, $f_1(u)$ och $f_2(u)$ (forts)

u	$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-u^2}$	$f_0(u)$	$f_1(u)$	$f_2(u)$
1.150	0.1503	-0.1039	0.0617	0.0329
1.200	0.1337	-0.0897	0.0520	0.0273
1.250	0.1183	-0.0771	0.0438	0.0224
1.300	0.1041	-0.0660	0.0366	-0.0184
1.350	0.0912	-0.0562	0.0307	-0.0148
1.400	0.0795	-0.0477	0.0253	-0.0122
1.450	0.0689	-0.0403	0.0209	-0.0100
1.500	0.0595	-0.0339	0.0172	-0.0081
1.600	0.0436	-0.0237	0.0114	-0.0055
1.700	0.0314	-0.0162	0.0076	-0.0032
1.800	0.0221	-0.0109	0.0050	-0.0020
1.900	0.0153	-0.0072	0.0031	-0.0012
2.000	0.0103	-0.0047	0.0020	-0.0007
2.100	0.0069	-0.0030	0.0012	-0.0005
2.200	0.0045	-0.0019	0.0007	-0.0003
2.300	0.0028	-0.0011	0.0005	-0.0001
2.400	0.0018	-0.0007	0.0003	-
2.500	0.0011	-0.0004	0.0002	-

Ur Drainage principles and applications, II Theories of field drainage and watershed runoff. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. Publication 16 (1972):II, s. 205.

Bil. 2 Anvisningar för bestämning av grundvattenytan enligt Edelman
samt några exempel

Bil.2:1 Beräkning av grundvattenståndsförändringen (Δh) vid en plöts-
lig höjning av den fria vattenytan

Bestämningen göres med användning av relationen

$$\Delta h = -\Delta y f_0(u).$$

Beräkningarna göres lämpligen stegvis.

A. Nödvändiga värden för beräkningarna
(beteckningarna finns i fig. 14)

- D = avståndet från den ursprungligen horisontella grundvattenytan till
det ogenomsläppliga lagret (m)
- μ = jordens effektiva porositet, d.v.s. den porvolym vari vattnet fritt
kan röra sig (dimensionslös)
- Δy = den plötsliga sänkningen/höjningen av den fria vattenytan i
kanalen (m)
- t = tiden sedan sänkningen/höjningen Δy påbörjades (dygn)
- x = vinkelräta avståndet från dikeskanten till den punkt där grund-
vattenytans läge söks (m)

B. Beräkningsmetod

1. Beräkna T genom formeln $T = \frac{kD}{\mu} t$
2. Beräkna u genom formeln $u = \frac{x}{2\sqrt{T}}$
3. Bestäm $f_0(u)$ för korresponderande värden på u ur tabell Bil. 2.
Ofta är interpolering nödvändig.
4. Multiplicera $f_0(u)$ med Δy . (Δy positivt vid höjning, negativt vid
sänkning).

Exempel 1.

Beräkning av Δh vid en plötslig höjning av den fria vattenytan

Antag att vi har en fri akvifär vars mättade djup D är 10 m, genomsläppligheten $k = 1$ m/dygn och effektiva porositeten $\mu = 0,1$. Akvifären genomskärs av en kanal. Vid $t < 0$ är vattennivån i kanalen och akvifären i jämvikt. Vid $t = 0$ höjs vattennivån i kanalen plötsligt 1 m, d.v.s. $\Delta y = 1$ m. Hur kommer grundvattenståndet att ha förändrats på olika avstånd från kanalen efter 25 dagar?

(Fritt efter Drainage principles and applications, vol. II Theories of field drainage and watershed runoff. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. Publication 16 (1972):II, s. 206.)

Givna värden

$$D = 10 \text{ m}$$

$$k = 1 \text{ m/dygn}$$

$$\mu = 0,1$$

$$\Delta y = 1 \text{ m}$$

$$t = 25 \text{ dygn}$$

$$x = 10 \text{ m, } 20 \text{ m, } 40 \text{ m, } 60 \text{ m, } 80 \text{ m, } 100 \text{ m}$$

T och u beräknas

$$1. T = \frac{kD}{\mu} \quad t = \frac{10}{0,1} t = 100 t$$

med $t = 25$ dygn ger ekvation (6)

$$2. u = \frac{x}{2\sqrt{T}} = \frac{x}{2\sqrt{100 \cdot 25}} = 0,01 x$$

En tabell ställs lämpligen upp.

x	u	$f_0(u)$ från tab.	Δy	$-\Delta y \cdot f_0(u) = \Delta h$
10	0.1	-0.8875	1	0.89
20	0.2	-0.7773	1	0.78
40	0.4	-0.5716	1	0.57
60	0.6	-0.3961	1	0.40
80	0.8	-0.2579	1	0.26
100	1.0	-0.1573	1	0.16

I sista kolumnen erhålls Δh , d.v.s. förändringen av grundvattenytan i meter. Dessa värden avsätts mot x och vi får en höjningskurva som i fig. 20.

Bil. 2:2 Beräkning av grundvattenståndsförändringen (Δh) vid en gradvis stigande fri vattenyta

A. Nödvändiga värden för beräkningarna (Se även fig. 14)

k = genomsläppligheten (m/dygn) (m/tim)

D = avstånd från grundvattenytans utgångsläge till ogenomsläppligt lager (m)

$\alpha = \frac{\Delta y}{t}$ = den fria vattenytans förändring per tidsenhet (m/dygn) (m/tim)

μ = effektiva porositeten (dimensionslös)

t = tid sedan höjningen inleddes (dygn) (tim)

B. Beräkningsmetod

1. Beräkna $\alpha = \Delta y/t$

2. Beräkna $\alpha' = \frac{\mu}{kD} \alpha$

3. Beräkna $T = \frac{kD}{\mu} t$

4. Beräkna $u = \frac{x}{2\sqrt{T}}$

5. Sök i tabell 1 upp det $f_2(u)$ värde som motsvarar framräknat u .

6. Beräkna $\alpha'T$

7. Multiplicera $\alpha'T$ med $f_2(u)$ och Δh erhålles

Exempel 2.

Antag att vi har samma akvifär som i exempel 1. Emellertid höjs inte vattennivån plötsligt vid $t = 0$ utan vattnet stiger successivt till 1 meter under 25 dygn. Hur kommer grundvattenståndet att förändras?

(Fritt efter Drainage principles and applications, vol.II Theories of field drainage and watershed runoff. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. Publication 16 (1972):II, s. 210-211.)

Givna värden

$$k = 1 \text{ m/dygn}$$

$$D = 10 \text{ m}$$

$$\mu = 0,1$$

$$\Delta y = 1,0 \text{ m vilket uppnås på 25 dygn}$$

$$x = 25 \text{ m}$$

1. Beräkna $\alpha = \Delta y/t$

$$\alpha = \frac{1,0}{25} = 0,04$$

2. Beräkna

$$\alpha' = \alpha \frac{\mu}{kD} = 0,04 \cdot \frac{0,1}{10} = 0,0004$$

3. $\frac{kD}{\mu} = \frac{10 \cdot 1}{0,1} \Rightarrow T = 100 \text{ t}$

4. En tabell sätts upp, för $x = 25 \text{ m}$.

$t, \text{ sedan } t_0$	$T = 100 \cdot t$	$u = \frac{25}{2\sqrt{T}}$	$f_2(u), \text{ ur tabell}$	$\alpha'T$	Δh
1	100	1.25	-0.0224	0.04	0.00
5	500	0.56	-0.2357	0.20	0.05
10	1000	0.40	-0.3699	0.40	0.15
15	1500	0.32	-0.4589	0.60	0.28
20	2000	0.28	-0.5089	0.80	0.41
25	2500	0.25	-0.5497	1.00	0.55

5. På motsvarande vis beräknas Δh för andra x . Om vi avsätter erhållna värden för Δh mot x får vi höjningskurvans variation med tiden.

Bil. 2:3 Bestämning av vissa hydrauliska egenskaper hos akvifären

Som tidigare nämnts kan $k \cdot D$ bestämmas utifrån observationer av hur grundvattenståndet förändras efter en viss tid från det att en reglering i en kanal genomförts. Förfarandet beskrivs i det följande.

A. Nödvändiga värden

Se även fig. 14.

1. Δy = förändringen av fria vattenytan i kanalen (m)
2. Δh = förändringen i grundvattenståndsrören efter tiden t då förändringen Δy skett (m)
3. x = vinkelräta avståndet från kanalen till det grundvattenståndsrör där Δh sker (m)
4. t = tiden sedan den plötsliga förändringen Δy inträdde (dygn, timme)
5. Tabellerade värden för u och motsvarande $f_0(u)$

B. Beräkningsmetod

1. För varje x och t beräkna $\frac{x}{\sqrt{t}}$
2. För varje Δh och Δy beräkna $\frac{\Delta h}{\Delta y}$
3. Avsätt $\frac{\Delta h}{\Delta y}$ mot $\frac{x}{\sqrt{t}}$ på dubbellogaritmiskt papper. "Observerad datakurva" erhålls (fig 1 bil 2).
4. Avsätt på dubbellogaritmiskt papper tabellerade värden för $f_0(u)$ mot u (typkurva fig 2 till bil 2).
5. Lägg de två papperen över varandra i ett försök att få de två kurvorna att sammanfalla samtidigt som koordinataxlarna hålls parallella (fig 1 bil 2)
6. Välj en jämförelsepunkt, d.v.s. läs av värdena för $f_0(u)$, u ,

$$\frac{\Delta h}{\Delta y} \text{ och } \frac{x}{\sqrt{t}}$$

7. Sätt in de avlästa värdena för $\frac{x}{\sqrt{t}}$ och u i formeln

$$\sqrt{\frac{k \cdot D}{\mu}} = \frac{1}{2} \frac{x}{\sqrt{t}} \frac{1}{u}$$

varvid $kD(\text{m}^2/\text{dygn})$ kan lösas. Om D är känt kan man beräkna värdet för k .

På samma sätt som ovan beskrivits kan även akvifärens hydrauliska egenskaper bestämmas för en konstant stigande eller sjunkande vattenyta, genom att jämföra en typkurva u med $f_2(u)$ och en observerad datakurva $\frac{\Delta h}{\Delta y}$ med $\frac{x}{\sqrt{t}}$.

Exempel 3.

Beräkning av markens genomsläpplighetsförmåga

Antag att vi har en rad grundvattenståndsrör längs en linje vinkelrät mot en kanal. Vi antar $\mu = 0,1$ och att rören är på avståndet 10, 20 och 40 meter från kanalen. Vid $t < 0$ är grundvattenståndet och kanalens vattenstånd i samma nivå. Vid $t = 0$ höjs kanalvattenståndet med 0,5 m. Grundvattenståndsmätningar görs vid varierande tidpunkter och ger de resultat vilka redovisas i Tab. 1.

(Fritt efter Drainage principles and applications, vol.II Theories of field drainage and watershed runoff. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen. Publication 16 (1972):II, s. 206-209.)

Erhållna värden

$$\Delta y = 0,5 \text{ m}, \mu = 0,1$$

$$x = 10 \text{ m}, 20 \text{ m}, 40 \text{ m}$$

$$t = 0,5, 1, 2, 3, 4 \text{ dygn}$$

$$D = 10 \text{ m}$$

Tab. 1 Observerade värden på Δh i grundvattenståndsrören

x	Tid sedan den plötsliga höjningen (dygn)				
	t = 0.5	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4
10	0.25	0.29	0.32	0.34	0.35
20	0.13	0.19	0.25	0.26	0.27
40	0.035	0.065	0.125	0.165	0.19

1. Från dessa värden beräknar vi $\frac{x}{\sqrt{t}}$ och $\frac{\Delta h}{\Delta y}$

$$x = 10$$

$\frac{x}{\sqrt{t}}$	14,2	10	7,1	5,8	5
$\frac{\Delta h}{\Delta y}$	0,50	0,58	0,64	0,68	0,70

$$\underline{x = 20}$$

$\frac{x}{\sqrt{t}}$	28,2	20	14,2	11,6	10
$\frac{\Delta h}{\Delta y}$	0,26	0,38	0,50	0,52	0,58

$$\underline{x = 40}$$

$\frac{x}{\sqrt{t}}$	56,8	40	28,4	23,2	20
$\frac{\Delta h}{\Delta y}$	0,047	0,13	0,25	0,33	0,38

2. $\frac{\Delta h}{\Delta y}$ avsätts mot $\frac{x}{\sqrt{t}}$ på log-log papper (Se fig. 1)

3. Lägg typkurvan för $f_0(u) - u$ (fig. 2) över den observerade datakurvan. Koordinataxlar ska vara parallella (fig. 3).

4. Välj jämförelsepunkt. Koordinaterna blir i exemplet

$$u = 0,1, \quad f_0(u) = -1,0 \quad \frac{x}{\sqrt{t}} = 4, \quad \frac{\Delta h}{\Delta y} = 0,7$$

5. Sätt in avlästa värden för u och $\frac{x}{\sqrt{t}}$ i ekvationen

$$\sqrt{\frac{kD}{\mu}} = \frac{x}{2\sqrt{t}} \frac{1}{u},$$

$$\sqrt{\frac{kD}{\mu}} = \frac{4}{2} \frac{1}{0,1} = 20$$

Ur detta erhålles $kD = 400 \times 0,1 = 40 \text{ m}^2/\text{dygn}$.

$$6. \quad kD = 40 \text{ m}^2/\text{dygn} \quad D = 10 \text{ m} \Rightarrow k = \frac{40}{10} = 4 \text{ m/dygn}$$

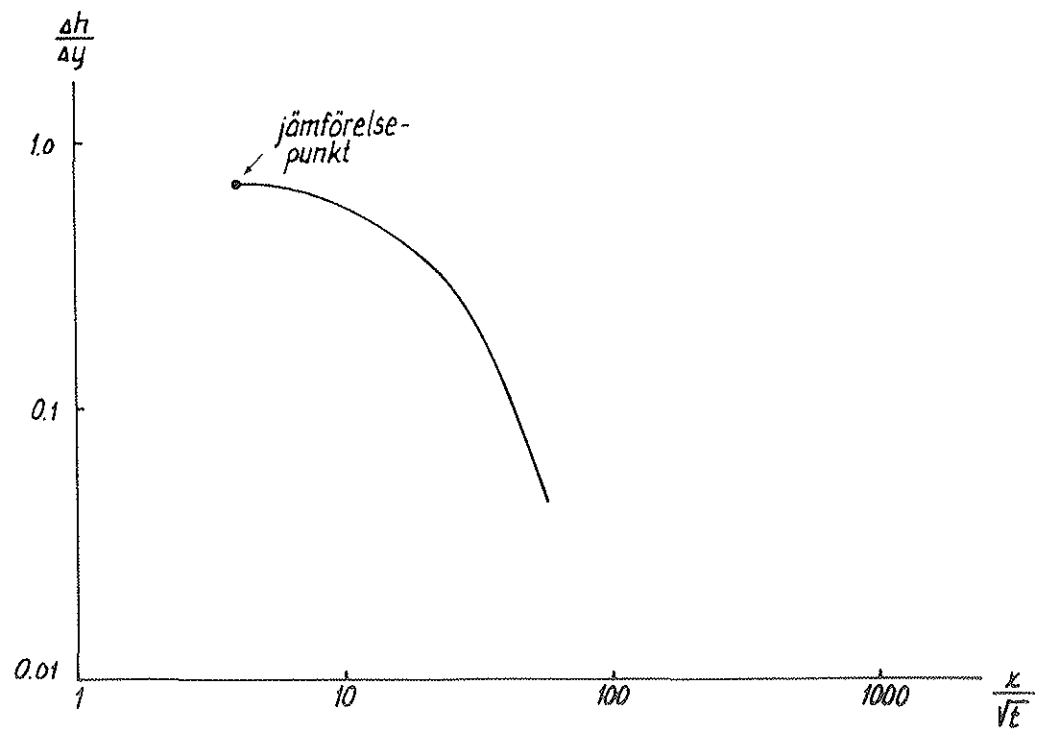


Fig. 1 till bil. 2

Observerad datakurva till exempel 3 ("beräkning av en akvifärs hydrauliska egenskaper").

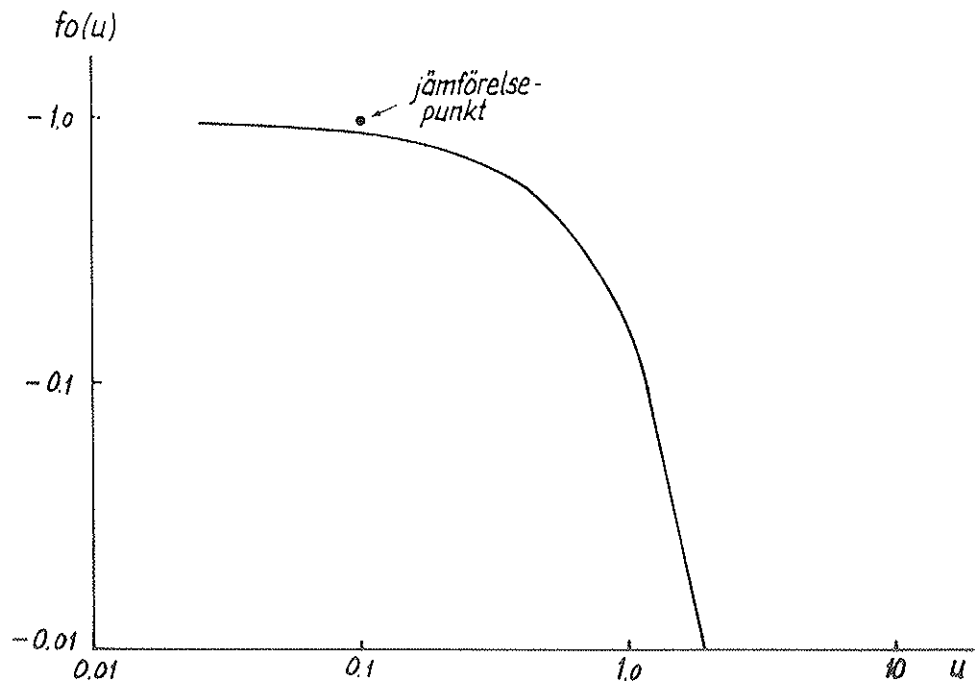


Fig. 2 till bil. 2

Typkurvan för $f_0(u)$ till exempel 3 ("beräkning av markens genomsläpplighet").

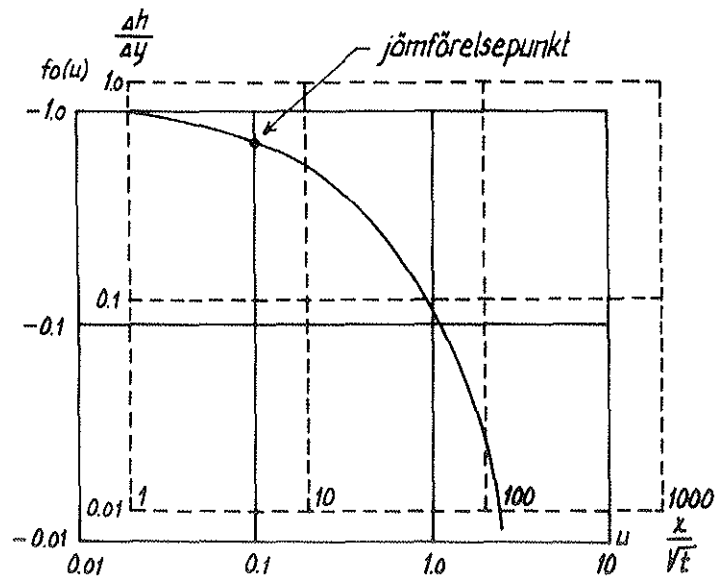


Fig. 3 till bil. 2

Jämförelse av den observerade datakurvan med typkurvan $f_0(u)$.

Bil. 3

Definitioner

1. Akvifär - jord eller berglager som innehåller grundvatten.
2. Fritt grundvatten - en grundvattenyta vilken ej uppåt avgränsas av ett för vatten ogenomträngligt lager.
3. Randvillkor - de villkor inom vilka man måste hålla sig för att en ekvation ska gälla.
4. Permeabilitet - ett materials genomsläpplighetsförmåga.
5. Isotrop jord - jord vilken visar samma egenskaper i alla riktningar.

Denna serie rapporter utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som dedöms vara lämpade för mer allmän spridning. Uppsatser av huvudsakligen internt intresse publiceras i serien Avdelningsmeddelande. Tidigare nummer i rapportserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Reports is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of articles or papers considered to be of general interest. Articles of mainly internal interest are published in a series of Divisional Communications (Avdelningsmeddelande). Earlier issues in the Report series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

DISTRIBUTION:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
750 07 UPPSALA, Sverige
Tel. 018-171165, 171181
